

**DISEÑO Y CALCULO DE UNA INSTALACION PARA CLIMATIZACION
MEDIANTE SUELO RADIANTE Y ACS EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA TÉRMICA Y DE
FLUIDOS**

ÁREA DE INGENIERÍA TÉRMICA

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR: Alejandro Morales Melián.

TUTOR: Sergio Sánchez

FEBRERO 2009

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
II. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS. PLANTEAMIENTO.....	8
III. ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE	13
IV. NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA VIVIENDA	26
IV.1 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	26
IV.1.1 Datos iniciales de Cálculo	26
IV.1.2 Descripción del cálculo de cargas	30
IV.2 NECESIDADES DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....	33
IV.2.1. Cálculo de la Carga Media de Consumo Mensual	33
IV.2.2. Carga térmica de diseño	34
IV.3 Resultados	34
V. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS	35
V.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.....	35
V.1.1. Descripción e Instalación propuesta	35
V.1.4. Pérdidas de Energía Solar	39
V.1.5. Rendimiento del Colector	47
V.1.6. Cálculo del Factor de Cobertura Solar	48
V.1.7. Almacenamiento de Calor en el Sistema de Energía Solar	50
V.1.8. Resultados.....	52
V.2. SISTEMA DE CALCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	52
V.2.1. Red de tuberías y selección de bombas de circulación.....	52
V.2.2. Método de calculo de la red de distridución.....	53
V.2.2.Selección de bombas de circulación	56
V.3. SISTEMA SUELO RADIANTE.....	56
V.4. DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE EXPANSIÓN	76
V.5. SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA	81
V.6. FUENTE AUXILIAR DE ENERGÍA.....	82
VI. VIABILIDAD ECONÓMICA Y PRESUPUESTO.....	85
VII. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	88

VIII. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS	92
IX. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN	97

ANEXOS DE CALCULO:

- ANEXO 1: Cálculo de los coeficientes K de los cerramientos.
- ANEXO 2: Cálculo de las cargas térmicas para cada local.
- ANEXO 3: Cálculo del suelo radiante.
- ANEXO 4: Cálculo de la Energía solar.
- ANEXO 5: Tablas de bomba de calor, caldera y bombas circulatorias.
- ANEXO 6: Cálculo de radiación solar: superficie horizontal e inclinada.
- ANEXO 7: Presupuesto.
- ANEXO 8: Cumplimiento de la normativa.
- PLANOS.

INDICE DE GRAFICOS:

[Graf. 1] Evolución de emisiones en España.

[Graf.2] Dependencia entre coordenadas solares.

[Graf. 3] Esquema de coordenadas de posición solar.

[Graf. 4] Radiación solar horaria media.

[Graf. 5] Radiación solar horaria media sobre colectores.

[Graf. 6] Radiación directa, difusa e inclinada en los colectores.

[Graf 7]. Necesidades y ahorros térmicos medias de la vivienda.

[Graf 8] Sección colector solar.

[Graf. 9] Circuito equivalente de resistencias térmicas.

[Graf. 10] Curva de normalización del colector.

[Graf. 11]. Necesidades y ahorros térmicos de la vivienda.

[Graf. 12]. Temperatura del agua en función del paso de la tubería.

[Graf. 13] Configuración escogida de la tubería.

[Graf.14]. Temperatura del agua en el interior de ida y retorno.

[Graf. 15] Temperatura del agua en función del diámetro de la tubería.

[Graf. 16]. Temperatura del agua en función de la profundidad de la tubería.

[Graf. 17] Esquema de tuberías PEX GOL.

[Graf. 18]. Esquema ACS.

[Graf. 19] Esquema Vitocell B100 500 litros.

INDICE DE TABLAS:

[Tabla 1] Descripción de la vivienda.

[Tabla 2]. Valor de los coeficientes del modelo simplificado de la irradiación difusa de Pérez..

[Tabla 3]. Necesidades medias mensuales de ACS.

[Tabla 4]. Factor de cobertura solar.

[Tabla 5] Selección de bomba de circulación.

[Tablas 6] PROPIEDADES DE TUBOS POLIETILENO RETICULADO (PEXGOL).

[Tabla 7] Propiedades mortero y agua.

[Tabla 8] Fuerzas expansión y contracción.

[Tabla 9] Comportamiento de tuberías en función de T^a y esfuerzo.

[Tabla 10] Vaso de expansión de climatización.

[Tabla 11] Vaso expansión energía solar.

[Tabla 12] Ahorro energético.

[Tabla 13] Reducción de emisiones.

I. INTRODUCCION.

La energía la podemos considerar como la magnitud física que nos indica la capacidad para realizar un trabajo. Más allá de consideraciones científicas, la energía es el motor de nuestro mundo: mueve nuestros cuerpos, calienta nuestras casas, ilumina nuestras calles, alimenta nuestras industrias, desplaza nuestros vehículos y, en definitiva, es la base de cualquier actividad que se lleve a cabo a nuestro alrededor. La riqueza y calidad de vida de los pueblos está directamente relacionada con el uso de los recursos energéticos. El consumo de energía se ha tomado como indicador de desarrollo industrial: a más consumo, más desarrollo. Creemos que es necesario cambiar este concepto: los países más desarrollados deberán demostrar que son capaces de seguir creciendo a la vez que disminuyen su consumo de energía primaria, de lo contrario este indicador más que de desarrollo nos hablará de derroche energético.

Dicha disminución del consumo, debe ir acompañada de un cambio en las políticas energéticas, apostando fuerte por recursos energéticos inagotables e inocuos como la energía solar.

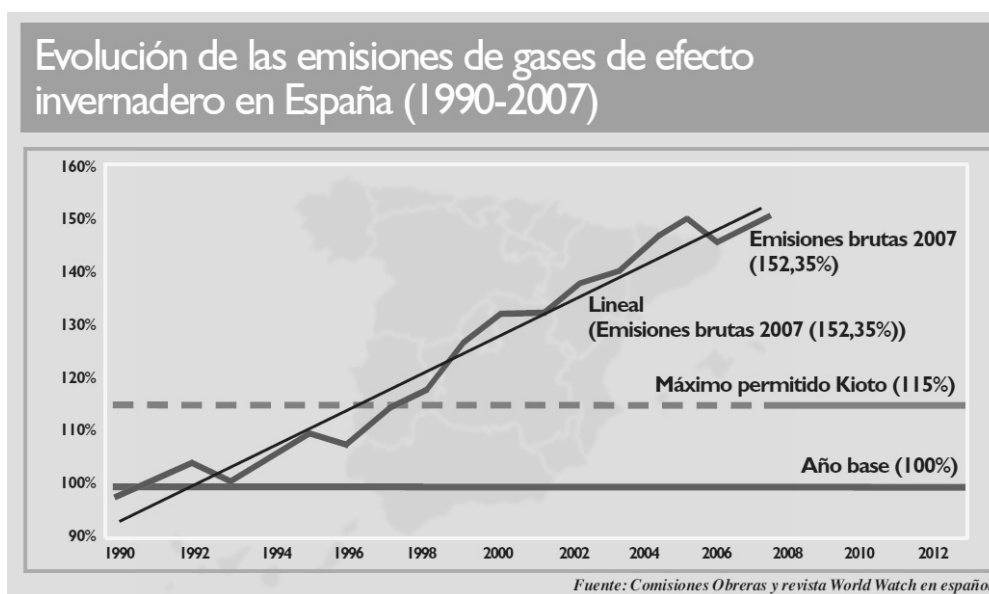
Los recursos energéticos son usados por el hombre para satisfacer algunas de sus necesidades básicas en forma de calor y trabajo. El calor es necesario para aplicaciones como la climatización del espacio. El trabajo, se utiliza para una variedad de procesos en los que hay que vencer fuerzas de oposición: para levantar una masa en un campo gravitacional, deformar un cuerpo o hacer fluir un líquido o gas.

En los últimos años, el consumo energético así como el crecimiento de la población y la mayor industrialización, nos obliga a la búsqueda de nuevas fuentes de energía una mayor eficiencia energética de los sistemas empleados para satisfacer la creciente demanda. Se están llevando a cabo muchas investigaciones para aprovechar las distintas formas de energía que tenemos al alcance y sus posibles combinaciones para obtener sistemas más eficientes que no hemos sido capaces de aprovechar.

Una de estas energías, y de hecho ahora es cuando se le está dando importancia con la entrada en vigor del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) en Marzo de 2007 y según lo especificado en su Documento Básico HE: Ahorro de energía, es la energía del sol. Esto puede ser debido a que vemos el fin de los combustibles que estamos empleando y junto con el elevado precio nos hace pensar en otras alternativas como fuentes de energía: el sol, el viento... que en principio van a ser muy rentables ya que el coste de combustible es cero. Centrándonos en la situación de España, cabe

señalar que una parte principal de la energía consumida proviene del petróleo, el carbón y el gas natural, siendo la mayor parte de estas importadas del extranjero al no disponer de yacimientos suficientes. Si bien, al comienzo de su explotación, estos recursos se consideraban ilimitados y su impacto ambiental era despreciable, actualmente estas consideraciones han cambiado radicalmente, principalmente debido a que el aumento de la demanda energética se produce con tal intensidad, que cada vez resulta más difícil encontrar y explotar yacimientos de estos combustibles.

Además, centrándonos en el impacto ambiental, el consumo masivo de hidrocarburos está produciendo alteraciones medioambientales a nivel mundial, como resultado de las emisiones que dan a día de hoy. Así, son los causantes de la denominada lluvia ácida o el calentamiento global de la tierra tan comentado en la actualidad que provoca el cambio climático. Y en las grandes ciudades también se producen efectos indeseables, nocivos y molestos, debidos a la combinación de las emisiones de gases de combustión con algunos otros fenómenos naturales, tales como el smog o concentraciones excesivamente elevadas de componentes indeseables en la atmósfera.



[Graf. 1] Evolución de emisiones en España

El Sol es el origen directa o indirectamente de todas las energías renovables: biomasa, eólica, solar...Además este tipo de energías que llamamos renovables tienen otro conveniente muy importante, su ausencia de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Debido a que no se da la combustión en el aprovechamiento de la energía, no emitimos gases de la combustión como el dióxido de carbono, el óxido de azufre... la producción de elementos contaminantes y de efecto invernadero es prácticamente nulo o bajo, aunque en algunos casos se utilizan fluidos contaminantes pero que se pueden tratar y evitar que contaminen en exceso.

Referente a este aspecto, existen tratados y protocolos, llevados a cabo por los países mas industrializados con el fin de abordar el impacto ambiental de la producción de energía. Ejemplos de estos pueden ser protocolos como el de KIOTO, que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990 o el de MONTREAL, que es un tratado internacional que tiene como objetivo proteger la capa de ozono mediante el control de producción de las sustancias degradadoras de la misma. El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas, y de alta energía, que llegan a la Tierra permitiendo que pasen otras como la ultravioleta de onda larga, que de esta forma llega a la superficie. Esta radiación ultravioleta es la que permite la vida en el planeta, ya que es la que permite que se realice la fotosíntesis del reino vegetal, que se encuentra en la base de la pirámide trófica.

II. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS. PLANTEAMIENTO.

La principal motivación para realizar este proyecto, es la implantación de una tecnología que permita responder las nuevas normativas así como las necesidades actuales de la sociedad al hacer uso de energía renovable, así como tecnología eficiente con una reducción importante de emisiones contaminantes. Todas las nuevas construcciones están obligadas a instalar sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica. Esta norma, sin duda, supone un impulso definitivo a esta tecnología.

En cuanto a las instalaciones, podemos encontrar desde equipos compactos para dotar de agua caliente sanitaria a una casa unifamiliar, hasta instalaciones más complejas con fluidos caloportadores distintos al agua, intercambiadores de calor, grandes depósitos de acumulación, etc.

Actualmente podemos afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas en general son amortizables sin la necesidad de subvenciones, y que se trata de una alternativa respetuosa con el medio ambiente.

En los últimos años se viene produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica debido, por una parte, a la mayor sensibilidad social y política hacia temas medioambientales y, por otra, a la continua mejora y reducción de costes de los sistemas solares térmicos.

La energía solar no se agota, se obtiene de forma periódica y no limitada en el tiempo, no produce lluvia ácida ni contribuyen al efecto invernadero, no deja residuos importantes, acerca las fuentes de producción al consumidor, ahorrando miles de kilowatios en transporte, fortalece la independencia energética y la industria nacional, favorecen la creación de empleo y por si esto fuera poco, nos resulta mas barata. Pero tiene el inconveniente de depender de las condiciones climáticas, por lo que en la instalación proyectada no será suficiente esta tecnología. Por esto la producción escogida mediante bomba de calor nos permite el uso de la instalación tanto en verano como en invierno, invirtiendo el ciclo de las bombas tendremos la posibilidad de calefacción y refrescamiento de las distintas estancias que componen la vivienda. De esta forma se instala una tecnología que aprovecha el consumo energético al ser unas máquinas muy eficientes. La energía que consume la bomba de calor es eléctrica y

proviene de la red. La bomba aire-agua extrae calor del aire exterior y lo cede al agua que circula por la instalación.

En Marzo de 2007 el Consejo Europeo dio luz verde a la directiva sobre eficiencia energética de los edificios. Se trata de una serie de medidas cuantitativas destinadas a conseguir el mayor ahorro energético posible, teniendo en cuenta que los edificios consumen en torno al 40 % de la energía utilizada en la Unión Europea. La propuesta europea, se basa en la utilización de energías limpias (como la solar) para las instalaciones de calefacción, agua caliente o electricidad. Algunas ciudades españolas, como Barcelona, Sevilla o Madrid, ya han adoptado medidas en este sentido. Con este proyecto se pretende avanzar en esta línea, adaptándonos a un cambio que parece evidente y necesario.

Los objetivos principales del proyecto son los siguientes:

- Diseño de una instalación eficaz y autorregulable que consiga unas condiciones de confort cercanas a las ideales.
- Cuantificar el ahorro energético y las emisiones contaminantes.
- Demostrar fiabilidad y viabilidad económica del sistema.

El sistema escogido para realizar la climatización de la vivienda es el suelo radiante, basado en un concepto antiguo de calefacción, “pies calientes cabeza fría”. Los romanos en latín lo llamaban “Hipocaustus” y en la España medieval se llamo con el nombre de “Glorias”. Se trata de introducir calor en el suelo y dejar que la radiación ambiente las casas, esto se conseguía construyendo canales por debajo del suelo y haciendo circular aire caliente por ellos. Este sistema esta basado la instalación de una red de tubos en forma de serpentín bajo el suelo del recinto. La elección de agua como forma de transmitir el calor se debe fundamentalmente a: puede calentarse de distintas formas, por tener un valor de capacidad calorífica muy bueno, por ser barata limpia y no tóxica. Para la realización de los cálculos, se ha hecho uso de el software “INSTALL PROGRAM”, que nos permite el cálculo tanto de las necesidades energeticas de la

vivienda como el propio cálculo de la instalación de suelo radiante; Temperaturas de impulsión, paso y diámetros de tubos...

La realización de la instalación ha constado de dos partes muy diferenciadas; por un lado lo que podemos considerar la memoria de este proyecto, se ha llevado a cabo el diseño de la propia instalación con el consecuente cálculo de necesidades de la vivienda, elección de equipos, viabilidad económica, estudio ambiental... Una segunda fase, que consiste en: elaboración de documentaciones, supervisión en obra de la instalación, coordinación con propietarios, suministradores, empresa certificadora o puesta en marcha de la instalación.

Un aspecto a considerar, es la función del diseño arquitectónico, con el fin de lograr sistemas de captación pasivo para aprovechar al máximo la energía solar. Los sistemas pasivos de captación de energía se han usado siempre a lo largo de la historia y es otro de los objetivos que esté presente en esta instalación. A la hora de realizar el diseño hay que conseguir que en invierno se obtenga toda la radiación posible cuidando que en verano se pueda moderar, manteniendo unas condiciones de confort en el interior de la vivienda.

DESCRIPCION DE LA VIVIENDA.

La vivienda está ubicada en la C/ Camino de la Zarzuela 59-2, Aravaca-Madrid. La división del recinto se realizara mediante departamentos, y dentro de cada departamento se asignaran distintos locales. Esto se hace así para mayor facilidad del cálculo, el programa de cálculo usado asigna una general por departamento, de las que posteriormente se obtendrá el número de colectores por general y número de circuitos por cada colector.

La instalación objeto de esta memoria consta de un total de 3 departamentos, distribuidos según los siguientes elementos que detallamos a continuación en función de su tipo y superficie:

- 3 departamentos tipo.
- 14 locales.

Departamento nº 1 : SOTANO

<i>Locales:</i>	<i>Superficie (m²)</i>	<i>Volumen (m¹)</i>
1 - BAÑO	12,92	33,59
2 - DORMITORIO1+ASEO	14,00	36,40
3 - PASOS	8,96	23,31
4 - DORMITORIO2+BAÑO	14,56	37,87
TOTAL DEPARTAMENTO:	50,45	131,17

Departamento nº 2 : PLANTA ALTA

<i>Locales:</i>	<i>Superficie (m²)</i>	<i>Volumen (m¹)</i>
1 - ASEO+PASOS	9,95	25,88
2 - DESPACHO+GALERIA	33,48	87,05
TOTAL DEPARTAMENTO:	43,43	112,92

Departamento nº 3 : PLANTA BAJA

<i>Locales:</i>	<i>Superficie (m²)</i>	<i>Volumen (m¹)</i>
1 - 3 DORMITORIOS	36,26	94,28
2 - ESTAR+LAVADORA	36,93	96,01
3 - BAÑOS (OESTE)	22,92	59,58
4 - COCINA+OFFICE	34,72	90,27
5 - SALON	81,73	212,50
6 - HALL+ASEOS	34,88	90,69
7 - PRINCIPAL+BAÑOS+VESTIDOR	55,33	143,85
8 - COMEDOR	21,36	55,52
TOTAL DEPARTAMENTO:	324,12	842,71

TOTALES DEL PROYECTO: 418,00 1086,80

[Tabla 1] Descripción de la vivienda

FUNCIONAMIENTO Y OCUPACION DE LA VIVIENDA.

Las horas de funcionamiento diarias para el cálculo se estiman en una media de 12, teniendo en cuenta que existirán controles de paradas de servicio según las horas de ocupación de los locales, así como, mantener las temperaturas de diseño para el confort mediante termostatos de ambiente según la **ITE 02.11**. referente al control automático necesarios para mantener las condiciones previstas de diseño.

La puesta en marcha del servicio de climatización será diaria durante todos los meses del período de invierno que consideraremos entre octubre y abril, y período de verano que consideraremos entre junio y septiembre, durante los cuales al variar las temperaturas exteriores, el funcionamiento del control determinará las horas de funcionamiento del servicio.

Los caudales de aire exterior de ventilación serán los indicados en la norma UNE 100011 según lo establecido en la **ITE 02.2.2**, se dan los valores concretos en el anexo nº 3 de cálculo de cargas térmicas.

III. ENERGIA SOLAR DISPONIBLE

La determinación de la radiación solar que alcanza a la superficie captadora es de cierta importancia, ya que nos proporcionará una parte de la potencia térmica necesaria para cubrir la demanda de ACS. Para esto parece apropiado comentar algunos conceptos teóricos de este tipo de energía, que nos llevara a conocer la superficie de captación adecuada.

POSICIÓN SOLAR

Nuestro planeta describe una órbita elíptica en su traslación alrededor del Sol, e invierte unos 365 días en completar un ciclo que llamamos año. Esta trayectoria es la denominada eclíptica. Además, el mundo, idealizado como una esfera, gira en torno a una recta que lo atravesaría de norte a sur por su centro. Prescindiendo de sus movimientos giroscópicos de precesión (anticipación de los equinoccios a una velocidad de 50,25" al año debido al cambio de orientación) y la nutación (oscilación de los polos 9,2" al año por la atracción lunar), se puede afirmar que este eje rotacional se mantiene constantemente inclinado $23^{\circ}27'$ respecto del plano eclíptico. Por lo tanto, el plano ecuatorial, al ser perpendicular al eje por su centro, tiene la misma amplitud. Las leyes mecánicas que rigen el desplazamiento espacial están expresadas en grado sexagesimal, cuyas variables, medidas desde el centro de la esfera terrestre son tres: la latitud, la declinación y el ángulo horario de cada momento. Para conocer la posición solar y la radiación que alcanza a una superficie cualquiera, primero se deben definir las siguientes coordenadas:

Coordenadas ecuatoriales

La latitud (Φ): es el arco de meridiano que se extiende desde el ecuador hasta el paralelo local, con lo que aumenta de 0 a 90° . Por convención, se toman valores positivos para el hemisferio norte y negativos para el sur. En la localidad en la que se va a realizar el proyecto, Aravaca-Madrid, la latitud es de: $\Phi = 42,19^{\circ}$

La declinación solar (δ): es el ángulo comprendido entre el plano ecuatorial y el plano orbital terrestre. Se debe a la inclinación de $23^{\circ}27'$ que el eje rotacional del globo forma con la eclíptica. Varía según la fecha, de manera que se anula en los equinoccios de primavera y de otoño (el 22 de marzo y el 22 de septiembre). El valor de la

declinación para cada día del año, se puede estimar aproximadamente con la fórmula de Cooper, en función del ordinal del día 'n', desde el 1º, el 1 de enero, hasta 365º, el 31 de diciembre:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n + 284}{365}\right) \quad (3.1)$$

El ángulo horario (ω): representa el arco orbital instantáneo del sol respecto del mediodía local. Como a lo largo del día recorre los 360º de la esfera celeste, corresponden 15º por cada hora transcurrida. El criterio internacional más extendido toma signo positivo para la mañana y negativo para la tarde, y lo refiere a la hora solar local (HSL), de manera que el ángulo horario para el mediodía (12 hsl) es nulo, para las 6hsl vale +90º, a las 18hsl, -90º y a la medianoche (0hsl) alcanza 180º.

$$\omega = 180 - 15 \cdot HSL \quad (3.2)$$

Coordenadas solares

Son función del tiempo y del lugar en que se definen, pues se subordinan a los ángulos topocéntricos anteriormente definidos.

La altura solar (α_s): Es el ángulo de elevación del Sol sobre el horizonte. Comienza en 0º al amanecer, culmina al mediodía con el valor $90^\circ - \Phi + \delta$ y termina en 0º al atardecer. Se expresa mediante el teorema del seno, su signo es positivo durante el día y negativo para la noche:

$$\sin \alpha_s = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (3.3)$$

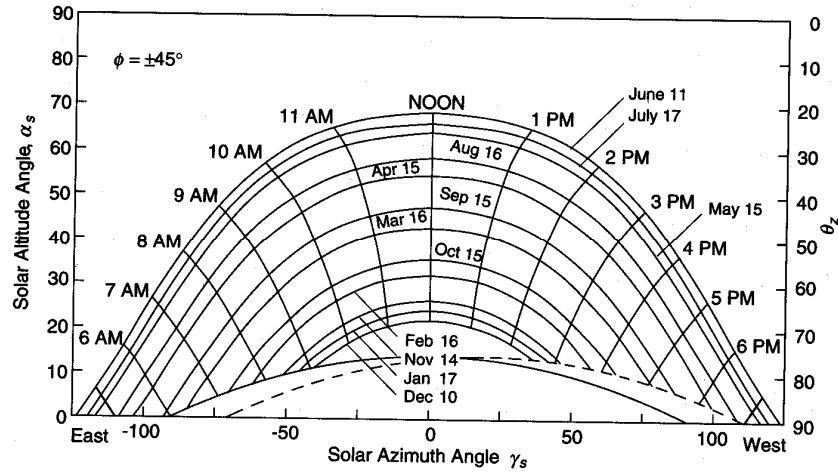
El ángulo zenital (θ_z): Es el ángulo complementario de la altura solar. Con la resolución sobre un triángulo esférico, se puede ver que el ángulo zenital varía con el tiempo según la función:

$$\cos \theta_z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (3.4)$$

El acimut solar (γ_s): Es el recorrido horizontal del Sol. Marca como origen el mediodía, cuando $\omega=0^\circ$, a las 12 hora solar. La expresión para su cálculo, es:

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha_s} \quad (3.5)$$

En la figura se puede ver la dependencia de estas variables, y como dependen del momento del año. La figura es un ejemplo de una localidad cuya latitud es de 45° , un poco mayor que la de este proyecto, $40^\circ 23' N$.



[graf.2] Dependencia entre coordenadas solares

Coordenadas horarias

Es muy útil para el estudio de la insolación determinar las horas de salida y de puesta del sol por el horizonte, o la duración del día que media entre ambas. Su medida es independiente de que se utilice la hora solar o la hora oficial. Los ángulos de salida y puesta sobre un plano horizontal (ω_s, ω_p), puntualizan la posición del sol en dichos instantes:

$$\begin{aligned}\omega_s &= \arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta) \\ \omega_p &= -\arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta)\end{aligned}\quad (3.6)$$

El momento del amanecer concuerda con una altura solar nula por el este, y el momento del atardecer con una altura solar nula por el oeste.

Coordenadas relativas

Dado que se analizará el alcance de los rayos solares sobre una superficie, es imprescindible conocer la posición de éstas respecto del sistema de coordenadas que se ha establecido.

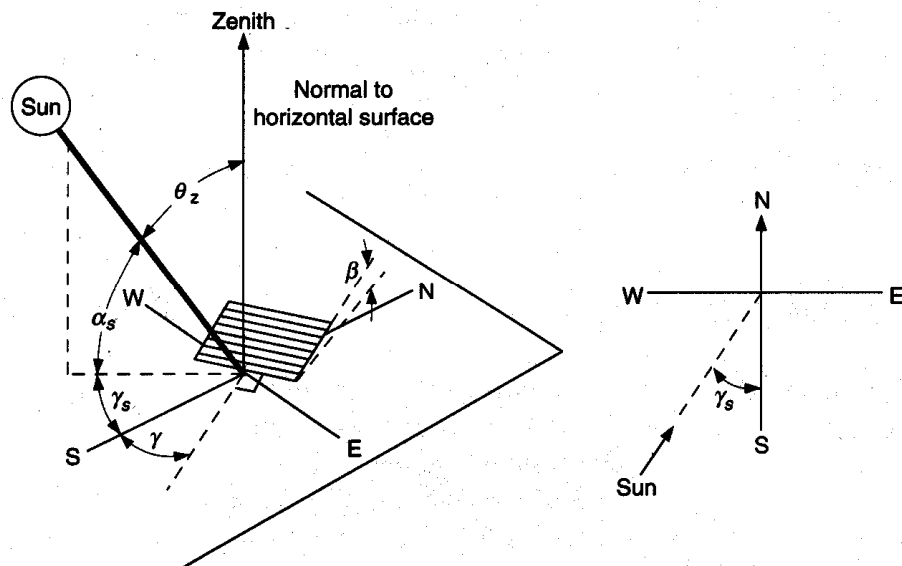
La orientación (γ): Define el rumbo acimutal que una superficie se separa del sur. Se mantiene el criterio de signos del acimut solar y del ángulo horario: negativo al este y positivo al oeste.

Por lo tanto al estar la superficie colectora orientada al SE, se tiene: $\gamma = -45^\circ$

Inclinación (β): Indica el levantamiento angular de la superficie respecto del plano horizontal, tangente a la tierra, sobre la que se apoya. En el caso de este proyecto, la inclinación de la superficie colectora, la marca la inclinación del tejado: $\beta=20^\circ$

Ángulo de incidencia solar (θ): Es el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie inclinada, formada por la dirección de la radiación directa con la normal a la superficie estudiada. Se calcula según la relación:

$$\begin{aligned} \theta = \arccos(&sen\delta \cdot sen\phi \cdot cos\beta - sen\delta \cdot cos\phi \cdot cos\gamma \cdot sen\beta + \\ &+ cos\delta \cdot cos\phi \cdot cos\beta \cdot cos\omega + cos\delta \cdot sen\phi \cdot sen\beta \cdot cos\gamma \cdot cos\omega \\ &+ cos\delta \cdot sen\beta \cdot sen\gamma \cdot sen\omega) \end{aligned} \quad (3.7)$$



[graf. 3] Esquema de coordenadas de posición solar

RADIACIÓN SOLAR

El Sol se compone, principalmente, de hidrógeno (90%) y helio (7%). En él se producen fusiones nucleares en que el primero de ellos se transforma en el segundo, por este proceso, el 0,73% de la materia se convierte en energía, que se manifiesta en forma de rayos gamma. Estas ondas, interactúan con la materia solar y se van tornando en radiaciones de diferente amplitud: ultravioleta (UV), visible (V) e infrarroja (IR).

La energía que el Sol emite al espacio no es sino radiación electromagnética, capaz de desplazarse en ausencia de materia, en el vacío. Y llega perpendicularmente a la superficie exterior de la atmósfera con una intensidad media de 1353 W/m^2 . Es lo que se denomina intensidad constante solar (I_{cs}), poco variable estacionalmente.

La intensidad de la radiación solar extraterrestre (I_{eh}), que es la radiación extraterrestre medida en un plano normal a la radiación, varía entre 1398 W/m^2 (3 de enero) y 1310 W/m^2 (6 de julio). La variación es debida a la excentricidad de la órbita de la Tierra que hace que la distancia entre ésta y el Sol presente ligeras variaciones a lo largo del año. Esta oscilación anual se estima, para el n ésimo (n) día, mediante la siguiente expresión:

$$I_{eh} = I_{cs} \cdot [1 - 0,0335 \cdot \sin(\frac{360}{365} \cdot (n - 95))] \quad (3.8)$$

Sin embargo, la radiación que alcanza la superficie terrestre queda reducida a unos 1000 W/m^2 , por el efecto de absorción, reflexión y difusión de la materia atmosférica (nubes, polvo, vapor de agua, polución, aerosoles, dióxido de carbono y otros gases).

La capa de ozono estratosférico rechaza la mayor cantidad de los penetrantes rayos ultravioleta, nocivos para los tejidos de los seres vivos. Una parte de la radiación extraterrestre se devuelve al espacio, y la que logra atravesar los gases retenido por la gravedad terrestre queda reducida, en su tropiezo con partículas y moléculas, a unos 900 W/m^2 , de los que sólo el 3% es ultravioleta el 57% visible y el 40% restante infrarrojo. La radiación final depende de la composición de la atmósfera y de la longitud del camino recorrido por los rayos del sol.

Se distingue entre radiación directa (I_b), la que llega a la superficie terrestre sin haber sido desviada; radiación difusa (I_d), que ha sufrido una difusión a lo largo del aire y no tiene una dirección predominante; y la radiación reflejada (I_r) que llega, como su nombre indica, por reflexión en otras superficies. Como es lógico, en un día soleado predominará la radiación directa y en uno nublado, la difusa, mientras que la reflejada depende siempre del albedo del entorno, y es muy importante en zonas nevadas y desérticas.

$$I_D = I_b + I_d + I_r \quad (3.9)$$

Radiación sobre una superficie horizontal.

Dado que de la radiación solar incidente dependen todos los sistemas de aprovechamiento solar, se recurre a medirla con heliógrafos, piranómetros y pirheliómetros. Las estaciones de medida se distribuyen para realizar, a partir de sus datos mapas generales de insolación y radiación solar. Sin embargo, su número es insuficiente para tener una cartografía microclimática. La variación en el régimen de nubosidad, la exposición a los vientos, los saltos térmicos, la altitud... singularizan la climatología. Los datos que se van a utilizar en este proyecto han sido recopilados en la página web de la comisión europea “<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>”

El modo habitual es referir la radiación a un plano horizontal, pues tal es la posición normal de los instrumentos de valoración, salvo en estaciones importantes, donde ya se comienza a medir también la captación inclinada.

Por lo tanto, se utilizarán los datos empíricos, obtenidos por medición directa, para hallar la radiación global incidente en una superficie horizontal, y a partir de los ángulos que definen la orientación e inclinación de la superficie se obtendrá la radiación incidente en los colectores del sistema. Estos ángulos son la inclinación respecto a la línea horizontal y el azimut respecto al sur.

Sin embargo, antes de realizar este cálculo se debe descomponer la radiación solar que llega a la superficie horizontal en sus componentes directa y difusa.

Para hallar las componentes directa y difusa de la radiación solar sobre una superficie horizontal a partir de la radiación global recogida empíricamente, se utiliza el método propuesto por Lui y Jordan y extendido por Klein. Este método propone relacionar la radiación difusa con la global y con la radiación extraterrestre, según las siguientes expresiones:

Por un lado, de la relación entre la energía solar que recibe un plano tendido en el suelo y la que captaría en los límites de la exosfera, se infiere el **índice de claridad atmosférica** (k), cociente restante una vez que los rayos han atravesado las masas de aire:

$$k = \frac{I_{gh}}{I_{eh}} \quad (3.10)$$

A partir de este coeficiente, se obtiene la relación entre la radiación global y difusa en una superficie horizontal:

$$\frac{I_{dh}}{I_{gh}} = 1,3903 - 4,0273 \cdot k + 5,5315 \cdot k^2 - 3,108 \cdot k^3 \quad (3.11)$$

Una vez calculada la radiación difusa, la componente de radiación directa se halla rápidamente como la resta de la radiación global y difusa.

$$I_{bh} = I_{gh} - I_{dh} \quad (3.12)$$

Radiación incidente en los colectores. Radiación sobre una superficie inclinada.

La evaluación de la radiación solar incidente sobre una superficie inclinada a partir de una superficie horizontal se hace separadamente para cada una de sus componentes (directa, difusa y reflejada).

Radiación directa.

La obtención de la radiación directa, se basa en la aplicación de una simple relación entre los ángulos de incidencia de los rayos solares sobre la superficie a considerar:

$$I_b = I_{gh} \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.13)$$

Donde el subíndice h hace referencia a la radiación sobre una superficie horizontal.

Radiación difusa. Modelo de Pérez.

La relación entre la radiación recibida por una superficie inclinada y una superficie horizontal dependerá de la distribución de esta en toda la bóveda celeste. Esta distribución es aleatoria, ya que depende de las características de transmisividad de la atmósfera, variables tanto en el tiempo como en el espacio, en función de la nubosidad, contaminación atmosférica, etc. Por esta razón hay que emplear modelos que aproximan la distribución real de la radiación solar difusa.

Se ha llegado a establecer un modelo generalizado que supone que la radiación difusa se compone de tres partes:

- Una parte recibida uniformemente de toda la bóveda del cielo, que se denomina isotrópica.
- Una parte concentrada en la parte del cielo que rodea al Sol, que se denomina circunscrita.
- La tercera parte se concentra cerca del horizonte y es más pronunciada en cielos claros.

A partir de este modelo generalizado de radiación, se han establecido varios métodos de cálculo difiriendo en la forma de tratar esta radiación difusa. Existen dos alternativas principales:

Modelos de cielo isotrópico:

Estos modelos por consideran que la radiación difusa no tiene componente direccional. El mas conocido es el desarrollado Lui y Jordan en 1962, denominado modelo difuso isotrópico. Este modelo comporta una formulación matemática muy sencilla pero, al mismo tiempo, muy poco real.

$$I_D = I_b \cdot R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_g \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.14)$$

Modelos de cielo anisotrópico:

Actualmente la mayor parte de los modelos que se utilizan tienen en cuenta la anisotropía de la distribución de la radiación difusa como son el de Temps y Coulson (1977), el de Klucher (1979), el de Hay (1979), Wilmott (1982), Page (1986) y Perez (1987)

El modelo empleado en este Proyecto es el de **Perez en su versión simplificada (1987) y actualizada (1990)**, que ha sido considerado el mas exacto en comparación con otros modelos y validado por las medidas reales de la Agencia Internacional de la Energía (McKay y Hay, 1987) y por otros investigadores. Este modelo supone que la radiación difusa horizontal procedente de la bóveda celeste es isótropa, excepto por una zona circular alrededor del Sol y una banda horizontal a lo largo del horizonte. Esta configuración tiene en cuenta los principales efectos de anisotropía, la dispersión debida a los aerosoles y la dispersión y retrodispersión múltiple de Rayleigh alrededor del horizonte.

La relación entre la irradiancia de cada una de las zonas en que se divide el cielo se determina a través de unos coeficientes, $F'1$ y $F'2$, que dependen de tres parámetros: un índice de claridad del cielo (ϵ), un índice de la brillantez del cielo (λ) y del ángulo zenital.

Así se tiene:

$$I_d = I_{dh} \left[(1 - F'1) \cdot \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + F'1 \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + F'2 \cdot \sin \beta \right] \quad (3.15)$$

Donde:

$$\begin{aligned} F'1 &= F'11(\epsilon) + F'12(\epsilon) \cdot \lambda + F'13(\epsilon) \cdot \theta_z \\ F'2 &= F'21(\epsilon) + F'22(\epsilon) \cdot \lambda + F'23(\epsilon) \cdot \theta_z \end{aligned} \quad (3.16)$$

Siendo de $F'11$ a $F'23$: coeficientes del modelo de cálculo, desarrollados a partir de datos reales de estaciones meteorológicas. Estos coeficientes se dan en función del valor de ϵ , índice de claridad del cielo, y λ , índice de brillantez del cielo, calculados a partir de las expresiones:

$$\varepsilon = \frac{I_{dh} + \frac{I_b}{\cos \theta_z}}{I_{dh}} \quad (3.17)$$

$$\lambda = I_D \cdot \frac{m}{I_{EH}} \quad (3.18)$$

Siendo m , la masa óptica relativa del aire, que corresponde al trayecto óptico de la radiación solar a través de la atmósfera terrestre, expresada en relación al trayecto óptico cuando el Sol se encuentra en el zenit. Se calcula según:

$$m = \frac{p/p_0}{\cos \theta_z} \quad (3.19)$$

Donde p/p_0 es la relación entre la presión atmosférica al nivel del mar y la presión atmosférica al nivel de la estación. Se puede aproximar, según:

$$\frac{p}{p_0} = e^{\frac{-z}{8000}} \quad (3.20)$$

Siendo z la altitud de la estación (en metros) sobre el nivel del mar. En la estación de la que se obtienen los datos (Madrid-Aravaca), $z=667$ m.

Intervalo de ϵ	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{21}	F_{22}	F_{23}
1,000 - 1,056	-0,042	0,550	-0,044	-0,120	0,138	-0,034
1,056 - 1,253	0,261	0,559	-0,243	-0,019	0,083	-0,081
1,253 - 1,586	0,481	0,460	-0,354	0,077	0,006	-0,116
1,586 - 2,134	0,825	0,187	-0,532	0,172	-0,050	-0,151
2,134 - 3,230	1,102	-0,299	-0,586	0,350	-0,398	-0,171
3,230 - 5,980	1,226	-0,451	-0,617	0,444	-0,949	-0,073
5,980 - 10,080	1,367	-0,838	-0,655	0,431	-1,750	0,094
10,080 - ∞	0,978	-0,812	-0,393	0,335	-2,160	0,186

[Tabla 2]. Valor de los coeficientes del modelo simplificado de la irradiación difusa de Pérez.

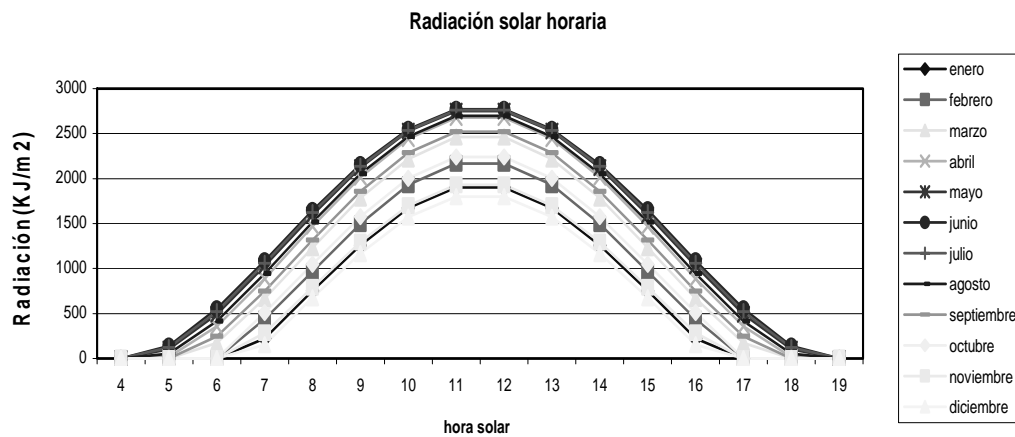
Radiación reflejada.

Finalmente, la radiación reflejada dependerá de la distribución de la radiación solar sobre la tierra y su reflexión. El modelo de cálculo empleado utiliza un coeficiente medio de reflectancia de la tierra (ρ) y estima una distribución de la radiación solar reflejada isótropa para toda la tierra. Así:

$$I_r = I_{gh} \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (3.21)$$

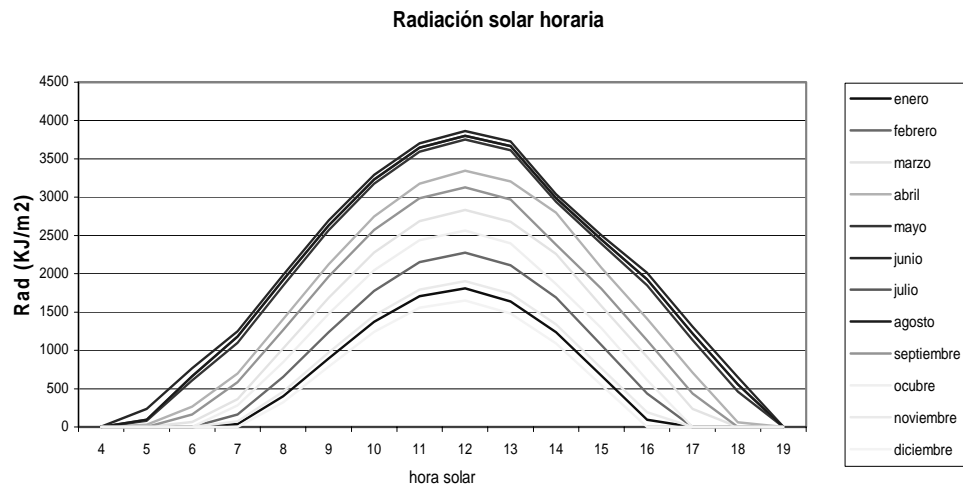
Resultados:

Radiación sobre superficie horizontal



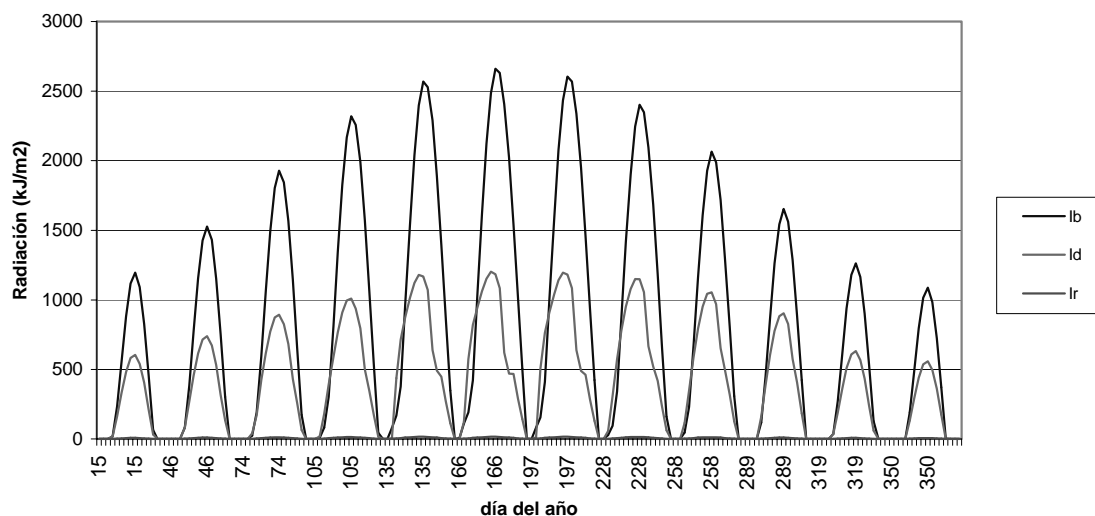
[Graf. 4] Radiación solar horaria media

Radiación sobre los colectores



[Graf. 5] Radiación solar horaria media sobre colectores

Componentes de la radiación



[Graf. 6] Radiación directa, difusa e inclinada en los colectores

Las tablas de resultados que muestran estas gráficas se pueden consultar en el anexo 6, “Tablas de resultados de radiación solar sobre superficie horizontal e inclinada”.

El gráfico 4, es una simple representación gráfica de los datos obtenidos de las radiaciones medias horarias para cada mes. Se puede comprobar que se ha estimado una radiación simétrica a lo largo del día, esto aunque no es así en la realidad da unos buenos resultados para el estudio que se quiere realizar.

El gráfico 5, es la que representa mayor utilidad, ya que es la energía disponible, la energía que alcanza la superficie de los colectores solares. Para los meses de invierno (noviembre, diciembre y enero), se podría haber obtenido una mayor radiación incidente si los colectores estuvieran orientados hacia el sur y si tuvieran una mayor inclinación, pues se observa en la gráfica que la radiación obtenida para estos meses no es muy alta. Sin embargo, se ha decidido admitir estas pérdidas para que la propia instalación forme parte estructural del tejado.

El gráfico 6, representa la radiación incidente en los colectores desglosada en sus componentes directa, difusa y reflejada. La radiación reflejada es casi despreciable, debido a la escasa inclinación de los colectores. La radiación difusa ha perdido algo de simetría al aplicar el método de Pérez para su cálculo, pero no es muy importante pues se va a trabajar con los datos de la radiación total.

IV. NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA VIVIENDA.

El cálculo de las necesidades energéticas de la vivienda, se realiza para el sistema de calefacción y para el de agua caliente sanitaria. La aplicación de la instalación en verano como refrescamiento, es considerada como un apoyo mas que como refrigeración por lo que no serán calculadas las cargas térmicas para refrigeración. En el apartado de futuros trabajos, se comentará una solución para aplicar en caso de querer dimensionar correctamente la instalación en verano.

Se calculan las necesidades de ambos sistemas para:

- La situación más desfavorable (carga de diseño), con la que se selecciona la fuente auxiliar de energía, que debe ser capaz de aportar dicha carga por sí sola para considerar el caso más desfavorable en el que el sistema de captación de energía solar no aporta energía.
- Las necesidades medias de cada mes, para calcular el ahorro medio que se produce gracias al sistema de captación de energía solar.

IV.1 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

El sistema de climatización debe mantener la vivienda a una temperatura de confort. Las necesidades térmicas son aquellas que compensan las pérdidas de calor de la casa debidas a la transferencia de calor a través de los muros y ventanas y a las infiltraciones de aire.

IV.1.1 DATOS INICIALES DE CÁLCULO

CONDICIONES EXTERIORES DEL CÁLCULO.

Para fijar las condiciones exteriores de diseño aplicaremos lo establecido en la **ITE 02.3** que nos remite a la norma **UNE 100001-85** sobre condiciones climáticas para proyectos.

- Coeficiente por orientación $O = 10 \%$
- Coeficiente por orientación $NO = 18 \%$ - Altitud sobre el nivel del mar = 667 metros.
- Zona climática = DY

Condiciones de invierno: corresponden a las observaciones de los meses de diciembre, enero y febrero para la temperatura seca (90 días) en la localidad de la obra.

- Temperatura seca = $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura húmeda = $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de locales no calefactados = $12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura del terreno = $6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Velocidad del viento = $2,7\text{ m/s}$
- Grados día anuales = 1.555 tomando como base $15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Condiciones de verano: corresponden a las observaciones de los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre (122 días)

- Temperatura seca = $32,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura húmeda = $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de locales no afectados = $31\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura del terreno = $12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- La oscilación máxima diaria de la temperatura seca de verano considerada es de $15,8^{\circ}\text{C}$, según tabla II de la UNE 100001: 85

Los coeficientes por orientación aplicados son los siguientes:

- Coeficiente por orientación N = 20 %
- Coeficiente por orientación NE = 15 %
- Coeficiente por orientación E = 10 %
- Coeficiente por orientación SE = 5 %
- Coeficiente por orientación S = 0 %
- Coeficiente por orientación SO = 5 %

Las condiciones exteriores de cálculo (latitud, altitud sobre el nivel del mar, temperatura seca y humedad, oscilación media diaria) se han establecido según lo indicado en la **UNE 100-001**.

Para el cálculo de consumos los datos de grados-día se obtendrán teniendo en cuenta los establecidos por la norma **UNE 100002-88**.

CONDICIONES INTERIORES DE CÁLCULO.

Para conseguir un bienestar térmico aplicaremos la **ITE 02.2**, por lo que se tendrá en cuenta la **UNE-EN ISO 7730** donde se determina los siguientes valores:

- Temperatura operativa de invierno 20 a 23°C. Especificada en cada local.
- Temperatura operativa de verano 23 a 25°C. Especificada en cada local.
- Humedad relativa: 40 a 60%. **UNE 100011-91**.
- Velocidad media del aire en verano. 0,18 a 0,24 m/s.
- Velocidad media del aire en invierno. 0,15 a 0,20 m/s.
- Caudal de ventilación: mínimo 1 renovación/hora **ITE 02.2.2**. especificada en cada local.
- Nivel sonoro: Según tabla 3 de la **ITE 02.2.3.1**.
- Vibraciones: Se aislará según **UNE 100153-88**.

Se tomarán las medidas adecuadas para que como consecuencia del funcionamiento de las instalaciones, en las zonas de normal ocupación de los locales habitables, los niveles sonoros en el ambiente interior no sean superiores a 40 dBA durante el día y a 30 dBA durante la noche.

COEFICIENTES GLOBALES K_g DEL EDIFICIO.

El cálculo de coeficientes K de transmisión de los cerramientos se realiza de acuerdo con todo lo especificado en la **Norma Básica CTE**, sobre condiciones térmicas en los edificios, a la que nos remite la **ITE 03.4**.

Según el apartado 1.7 del anexo 1 de la citada norma se empleará la fórmula siguiente:

$$K_g = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_1}{l_1} + \frac{e_2}{l_2} + \dots + \frac{e_n}{l_n} + \frac{1}{h_e}} \quad (4.1)$$

donde:

- k = coeficiente de transmisión en watos/ m^2 °C
- $1/h_i$ = Resistencia térmica superficial interior en m^2 °C/watios
- $1/h_e$ = Resistencia térmica superficial exterior en m^2 °C/watios
- e_n = espesor del componente n del cerramiento en m
- λ_n = conductividad térmica del componente en watos /m °C

Los valores de $1/h_i$ y $1/h_e$ se tomarán aplicando la tabla 2.1 del Anexo 2 de la Norma Básica citada y los valores de las conductividades térmicas para cada uno de los materiales de la tabla 2.8.

Los valores límite de los coeficientes se tomarán de la tabla 2 del Artículo 5º de la norma y, teniendo en cuenta que la población en que se encuentra la obra pertenece a la zona climática DY, se comprueba que todos los valores de los coeficientes K se encuentran dentro de los límites.

DESCRIPCION DE CERRAMIENTOS

Aplicando la expresión arriba expuesta se obtienen los resultados que aparecen en el anexo nº1 de la presente memoria: ***Cerramientos Definidos en el Proyecto***, en el cual se definen todos y cada uno de los materiales que componen los cerramientos, con sus correspondientes datos y en cumplimiento con la CTE.

IV.1.2. DESCRIPCION DEL CÁLCULO DE CARGAS TERMICAS.

CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN DE LOS LOCALES.

El cálculo de cargas térmicas se realizará de forma independiente para cada local, en virtud de lo especificado en la **ITE 03.5** y teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Características constructivas y orientaciones (Coeficientes K y coeficientes por orientación).
- Influencia de los edificios colindantes y exposición a los vientos (Coeficiente por situación)
- Tiempos de funcionamiento (Coeficiente por intermitencia)
- Ventilación (norma **ITE 02.2.2**) especificada para cada dependencia en el anexo2.

Las determinamos calculando en primer lugar las pérdidas por transmisión para, a continuación, calcular las de infiltración y renovación y, conocidas ambas, sumar la mayor de las dos a la de transmisión. Para efectuar estos cálculos, tomamos como datos de partida los expuestos anteriormente de condiciones exteriores e interiores en los apartados 2.3, 2.4 y 2.5, los coeficientes K de transmisión, así como de las características dimensionales y de distribución reflejadas en los planos.

- Velocidad del viento (v) = 1.0 m/s
- Permeabilidad al aire a 100 Pa (Q_{ip}) Definida en cada ventana.
- Incrementos por Orientación (I_o)
- Incremento por intermitencia (I_i) = 15 %.
- Incremento por altura (I_a) = Se define en cada local.

Pérdida por transmisión:

Las calculamos atendiendo a las ecuaciones siguientes, y tomando los valores de los coeficientes k que describimos en el capítulo 2.3 y cuyos resultados presentamos en cuadro sucesivo para cada local:

$$Pt = S \cdot K_n \cdot I_o \cdot (T_i - T_e) \quad (4.2)$$

- **Pt** = Pérdida de transmisión en Watios.
- **S** = Superficie del cerramiento en m².
- **Kn** = Coeficiente K del cerramiento en Watios/m² °C
- **Io** = Incremento por orientación.

En los cerramientos horizontales o no calefactados el incremento Io no se aplicará al no influir la orientación en los mismos.

Calculadas las pérdidas por transmisión pasamos a calcular las producidas por infiltración y también por renovación con arreglo a las expresiones que detallamos a continuación:

Pérdidas por infiltración:

$$Pv = c \cdot \Pi \cdot v^2 / 2 \quad Q_{ir} = Q_{ip} \cdot (Pv / 100)^{1/n} \quad (4.3)$$

$$Pi = x \cdot Q_{ir} \cdot S \cdot (Ti - Te) \quad \text{en Watios, donde:} \quad (4.4)$$

- **Pv** = Presión del viento en Pa.
- **c** = 0.94 (coeficiente entre 1 y -0.5)
- **r** = 1.293 Kg/m³ (masa específica del aire)
- **Qir** = Infiltración real a Pv de presión en m³/h m²
- **Qip** = Infiltración a 100 Pa en m³/h m²
- **n** = 1.50 (entre 1 y 2 según el flujo).
- **x** = 0.30
- **S** = Superficie del cerramiento en m²
- **Pi** = Pérdidas por infiltración en Watios.

Pérdidas por renovación:

$$P_r = 0.30 \cdot Vol \cdot N \cdot (T_i - T_e) \quad \text{en Watios, donde:} \quad (4.5)$$

- N = N° renovaciones s/ tabla UNE 100-011-91.
- Pr = Pérdidas por renovación en Watios.

Pérdida total por local:

Como hemos indicado para calcular la pérdida total de calor en cada local comparamos los apartados anteriores y elegiremos la mayor de las dos pérdidas calculadas para sumarlas a la transmisión.

El resultado lo mayoramos con los factores de corrección que hemos definido en los datos de partida, con arreglo a la fórmula siguiente, en la que empleamos la suma dichos factores expresados en tanto por uno:

$$\text{- PERDIDA TOTAL} = P_t + (P_i \text{ o } P_r) \cdot (I_s + I_i + I_a + I_e) \quad \text{en W.} \quad (4.6)$$

Pi o Pr: La mayor de ambas.

Is: Coeficiente por intermitencia.

Ia: Coeficiente por altura, cuando sea superior a 4 metros.

Ie: Coeficiente por esquina.

IV.2 NECESIDADES DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

El sistema de ACS debe aumentar la temperatura del agua de red hasta la temperatura de consumo. Las necesidades térmicas dependen del consumo instantáneo de agua caliente, que aunque no se puede predecir con exactitud se puede estimar a nivel diario.

IV.2.1 Cálculo de la Carga Media de Consumo Mensual.

La vivienda estará ocupada por 8 personas durante los doce meses del año. Como no se dispone de datos concretos acerca de consumos, se estima un gasto medio de 40 litros por persona y día. Se toma este valor para mantenerse dentro de lo establecido por el RITE para el suministro de Agua Caliente Sanitaria, que obliga a que esta se mantenga entre 45°C y 50°C.

A partir de estos datos se puede calcular las necesidades energéticas para cada mes, hoja de carga:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Consumo de agua [m ³]:	9,9	9,0	9,9	9,6	9,9	9,6	9,9	9,9	9,6	9,9	9,6	9,9	116,8
Cons. agua (litros/día)	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Incremento T ^a . [°C]:	39,0	38,0	36,0	34,0	33,0	32,0	31,0	32,0	33,0	34,0	36,0	39,0	
Ener. Nec. [Termias]:	387	340	357	326	327	307	308	317	317	337	346	387	4.057
Consumo [Termias/día]	12,5	12,2	11,5	10,9	10,6	10,2	9,9	10,2	10,6	10,9	11,5	12,5	11,1

Tabla 3. Necesidades medias mensuales de ACS

Donde:

En la primera fila se hace referencia al consumo en metros cúbicos.

La segunda fila representa el consumo diario en litros.

La tercera fila expresa la diferencia de temperatura.

La cuarta fila expresa las necesidades energéticas para cubrir el consumo necesario de agua caliente.

IV.2.2. Carga térmica de diseño.

La determinación del consumo de energía es el primer paso para el dimensionamiento de la instalación solar térmica, ya que permite estimar los costes energéticos de operación para la producción de ACS, y al mismo tiempo permite encontrar cual es el ahorro generado por la instalación solar propuesta.

Para realizar el estudio energético se supone que 2 captadores abastecen al depósito de ACS. La regulación empleada permite la optimización de calor en el sistema, es decir, todos captadores en una primera fase abastecen al circuito de máxima prioridad (ACS), optimizando en todo momento la energía disponible en los captadores solares.

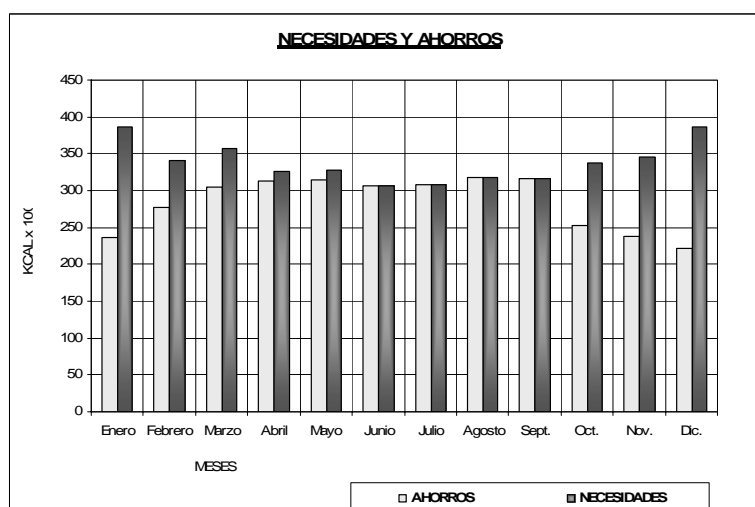
En el caso de las necesidades térmicas para el ACS, la situación más desfavorable, se da un día característico del mes de diciembre. Se aplicará un factor de seguridad del 10%. Para realizar este cálculo se considera que el tiempo adoptado para la preparación de agua caliente acumulada (t_p) es de 8 h.

$$P_{ACS} = \frac{Q_{dia}}{8} \cdot 1,1 \quad (3.22)$$

$$P_{ACS} = 1.81 \text{ KW}$$

IV.3 Resultados.

- Las necesidades totales de la vivienda, que debe cubrir en la medida de lo posible el sistema de captación solar son las siguientes:



[Graf 7]. Necesidades y ahorros térmicos medios de la vivienda

V. DESCRIPCION Y DISEÑO DEL SISTEMA.

Atendiendo a los diversos factores influyentes tales como: posibilidad de regulación en cada dependencia, economía de energía, comparación de la inversión inicial y el consumo energético posterior, condiciones de confort, protección del medio ambiente, etc. se ha optado por los siguientes sistemas:

V.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.

V.1.1. DESCRIPCIÓN E INSTALACIÓN PROPUESTA.

Una manera eficiente y gratuita de obtener agua caliente sanitaria, es empleando la energía solar. Con el uso de captadores solares de placa plana se puede conseguir agua caliente a temperaturas comprendidas entre 45 y 60 °C.

La fiabilidad y durabilidad de estos sistemas, su escaso mantenimiento y el hecho de aprovechar una fuente de energía gratuita, la Energía Solar, ha sido la causa del notable crecimiento de este tipo de instalaciones a nivel mundial.

Con la instalación solar que se presenta a continuación se pretende cubrir un porcentaje notable de las necesidades derivadas de la producción de agua caliente sanitaria.

NORMATIVA

El presente estudio ha sido confeccionado según las directrices de los reglamentos en vigor como son el ***RITE*** (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios), el ***Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión***, así como las especificaciones técnicas del IDAE.

En el diseño de la instalación se han tenido en cuenta las directrices que marca el ***Real Decreto 865/2003 de 4 de julio***, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la Legionelosis y la Norma UNE 100-030-94 “Guía para la prevención de la Legionela en Instalaciones”.

Solución técnica

A la hora de diseñar una instalación como la que se propone, el principal objetivo es el aprovechamiento de la energía solar para obtener un servicio necesario (o parte de él) como es la producción de Agua Caliente Sanitaria, de una manera eficiente, sin renunciar al confort.

A pesar de que el primer objetivo es el básico, se deben tener en cuenta muchas otras variables que afectarán a la decisión de qué tipo de sistema adoptar.

Alguna de estas condiciones o realidades a estudiar se indican a continuación:

- Necesidades térmicas a estudio y posibilidades que ofrecen.
- Confort obtenido de cara al usuario (total automatización del sistema).
- Relación aportación – coste.
- Fiabilidad de la instalación.

Por todo lo comentado anteriormente se propone diseñar una instalación que aproveche una energía gratuita como es la Energía Solar, con un coste que la haga justificable económicamente y utilizando sistemas de automatización, que permitan una optimización de calor, de complejidad mínima para que la posibilidad de averías quede reducida al máximo posible.

Descripción:

El sistema solar que se describe en este estudio consta, básicamente, de dos partes claramente diferenciadas.

- Sistema captador de la energía (o circuito primario).
- Sistema receptor de la energía (o circuito secundario).

El sistema captador no es más que un conjunto de captadores solares de placa plana, un tendido hidráulico por el que circula el fluido primario caloportador y aquellos elementos que controlan y llevan a cabo la circulación de este.

El sistema receptor, en este caso, está formado por el acumulador bivalente de agua caliente sanitaria que almacena la energía del fluido caloportador, el sistema de intercambio térmico (serpentines de calor), y aquellos elementos encargados de guiar al agua de consumo hasta dicho sistema de intercambio térmico.

Características del estudio:

La ocupación máxima prevista será de 8 personas. El consumo de ACS se estima en 50 litros / día / persona a una temperatura de utilización de 45°C; este dato es estimado en base a la experiencia en instalaciones de similares características y a falta de conocer datos históricos de consumo. Para el sistema de energía convencional se empleara una caldera de gas.

Instalación propuesta:

En vista a los consumos de energía previstos se propone incorporar un sistema de energía solar térmica mediante captadores solares de placa plana para la producción de agua caliente sanitaria. Normalmente este tipo de instalaciones no se diseñan para una cobertura solar total, ya que esto supondría sobredimensionar los equipos y encarecer considerablemente la instalación. El sistema propuesto cubre gran parte de las necesidades energéticas totales. Por tanto, en esta propuesta que a continuación se detalla, la instalación solar se ha dimensionado con el fin de conseguir una cobertura solar óptima y cumplir con el reglamento vigente en este tipo de instalaciones. El método de cálculo utilizado ha sido en F-Chart.

La instalación de captadores propuesta consta de 2 captadores VITOSOL 100 ubicados en un sitio adecuado y libre de sombras. El volumen de acumulación para ACS se cifra en 500 litros, 100 litros/m² de colector escogiendo un acumulador bivalente, . VITOCCELL B-100 de 500 litros, que nos permita la transferencia de calor en el mismo tanque eliminando intercambiadores externos.

El fluido primario o caloportador (agua con un 30% de anticongelante) circula por los captadores solares transfiriendo la energía térmica captada al agua de consumo, mediante los serpentines de calor.

El campo de captación esta formado por 2 captadores con una superficie unitaria de 2.5 m^2 , formando un total de 5 m^2 . El montaje se realizará en una zona exterior adecuada buscando la orientación más favorable (Sur).

La circulación de los circuitos primario (son $40,2 \text{ ls/h}\cdot\text{m}^2$.) y secundario($50 \text{ ls/h}\cdot\text{m}^2$) se realizará mediante circuladores dimensionados acorde a las necesidades de caudal y pérdida de carga en cada uno de los circuitos considerados.

El funcionamiento de estos grupos de bombeo estará controlado por un termostato diferencial Vitosolic 100. Esta centralita de regulación permite una regulación electrónica por diferencia de temperatura. Con lectura digital de temperatura, balance de potencia, supresión del calentamiento posterior de la caldera, calentamiento del volumen de precalentamiento del ACS y sistema de diagnóstico.

El funcionamiento básico del control es el siguiente: Cuando la sonda de captadores tiene un nivel térmico superior a la sondas de los depósitos (unos 6°C) se activa la bomba solar y la bomba del depósito prioritario (ACS) comenzando el ciclo de transferencia térmica al acumulador. Esto sucede debido a que la prioridad seleccionada es la de este receptor de calor.

En esta situación toda el área de captadores está abasteciendo a un solo depósito (500 litros), es decir no existe carga paralela (optimización de calor). Este estado de funcionamiento se mantiene hasta que se alcance la temperatura máxima prefijada para este depósito o hasta que la diferencia de temperaturas entre ambas sondas se igualen. La optimización de calor, tal y como se ha explicado, aumenta notablemente la efectividad de la instalación.

Cuando el nivel térmico en la sonda de los captadores es inferior al del acumulador, se activa la caldera para aportar la transferencia necesaria en las condiciones de diseño. En la regulación de caldera se codifica un tercer valor de consigna de la temperatura de ACS. El acumulador de ACS sólo es calentado por la caldera si no se logra alcanzar este valor de consigna por medio de la instalación de energía solar.

V.1.2. Pérdidas de Energía Solar

Calcular las pérdidas en el sistema de captación de energía solar, y con ello el rendimiento global del mismo, es un problema complejo, pues hay que tener en cuenta que por una parte la fuente de energía es variable, ya que la radiación solar varía a lo largo del día, así como la velocidad y dirección del viento; y por otra parte la carga térmica demandada por el sistema también es variable. La velocidad y dirección del viento es imposible de predecir, por lo tanto es imposible calcular con antelación las pérdidas que origina el colector. El cálculo de las pérdidas se podrá realizar teniendo en cuenta la incertidumbre de las originadas por el viento.

Además, los componentes del colector (placa, cubierta, aislamiento térmico...) acumulan cierto calor, que se hace tanto mas importante cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre la placa absorbente y la temperatura ambiente.

Para calcular las pérdidas variables de calor, se debe determinar a cada instante la temperatura de la placa absorbente y la temperatura de cada componente, que estará comprendida entre la temperatura de la placa y la temperatura ambiente. Hay que decir que este balance se puede hacer tanto en términos de potencia instantánea (W) como de energía durante un período determinado de tiempo. Como los datos meteorológicos disponibles están tomados a intervalos de una hora, el segundo caso será el utilizado.

El sistema arranca cuando la radiación solar interceptada por el captador sea igual o mayor que al suma de todas las pérdidas del colector y la instalación. A este nivel crítico de radiación o umbral mínimo de energía, se le denominará, I_{\min} .

El balance energético global en el colector es:

$$A_c \cdot I_T \cdot (\tau\alpha) = Q_u + Q_p + Q_a \quad (5.1)$$

Donde:

Q_u : Calor útil

Q_p : Calor perdido por transferencia de calor

Q_a : Calor almacenado en los componentes del colector

I_T : Radiación solar total incidente por unidad de área y de tiempo

A_c : Área del colector

τ : Transmitancia media de la cubierta transparente

α : Absortancia media del captador

En los siguientes apartados se calculará la energía útil que finalmente alcanza el tanque de almacenamiento.

Pérdidas de Energía por Transferencia de Calor

La transferencia de calor se produce por dos fenómenos, la radiación y la convección. En el fenómeno de radiación el captador emitirá radiación en longitudes de onda prefijadas según la Ley de desplazamiento de Wien, y las pérdidas se evaluarán aplicando la ley de Stefan-Boltzmann.

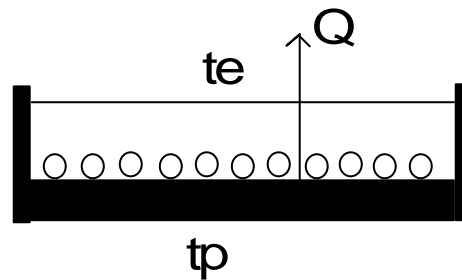
El cálculo detallado de la transferencia de calor entre el sistema de captación y el ambiente es muy complejo, sin embargo se puede realizar un análisis simplificado, que experimentalmente ha dado resultados útiles para el balance energético. Este análisis requiere una serie de suposiciones previas:

- Se asume régimen permanente
- Se considera que la cubierta no absorbe energía
- Se considera flujo de calor unidimensional a través de la cubierta y de la parte posterior del aislamiento
- El salto de temperatura a través de la cubierta es despreciable
- La cubierta es opaca a la radiación infrarroja
- Las propiedades son independientes de la temperatura
- Se desprecian los efectos del polvo y suciedad en la cubierta

Teniendo en cuenta la estructura básica del colector, se irán calculando las pérdidas de las diferentes partes del mismo. El objetivo de este apartado, es llegar a obtener una expresión final de un **coeficiente global de pérdidas**, que representa la transferencia de calor tanto por radiación como por convección del sistema de captación.

Pérdidas a través de la cubierta

La cubierta está compuesta por un policarbonato transparente, que se considera a temperatura t_e .



[Graf 8] Sección colector solar

Entre la placa (captador) y la cubierta se transfiere una potencia térmica dada por la ecuación:

$$P_{pe} = A \cdot h_{pe} \cdot (t_p - t_e) + \frac{\sigma \cdot A (t_p^4 - t_e^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_e} - 1} \quad (5.2)$$

Donde el primer término del segundo miembro es la transferencia de calor por convección, y el segundo por radiación.

t_e = Temperatura de la cubierta

t_p = Temperatura de la placa

h_{pe} = Coeficiente de transferencia de calor por convección entre placa y cubierta

ϵ_e = Poder emisivo de la cubierta a temperatura t_e

ϵ_p = Poder emisivo de la placa a temperatura t_p

σ = Constante de Stefan-Boltzmann

A = Área de la placa

Hallar el coeficiente de transferencia de calor por convección, es un problema típico de transferencia de calor entre dos placas paralelas por convección natural. Se determina

mediante una correlación de dos números adimensionales: el Nusselt (Nu) y el número de Rayleigh (Ra), dados por:

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{h \cdot L}{k} \\ Ra &= \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T L^3}{\nu \alpha} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Donde

h: coeficiente de transferencia de calor

L: distancia entre placas

k: conductividad térmica

g: constante de la gravedad

β' : coeficiente de expansión volumétrica (para un gas ideal $\beta'=1/T$)

ν : viscosidad cinemática

α : difusividad térmica

Para relacionar estos dos números, Hollands (1976), dio la siguiente relación para inclinaciones de las placas entre 0° y 75°:

$$\begin{aligned} Nu &= 1 + 1,44 \cdot \left[1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right]^+ \\ &+ \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \end{aligned} \quad (5.4)$$

Donde el exponente + indica que solo se deben tomar los términos entre corchetes si son positivos, si son negativos se tomarán como 0. De esta relación se obtiene el coeficiente de transferencia de calor entre la placa y la cubierta h_{pe} .

Para simplificar estas ecuaciones, se define una resistencia térmica (R_1) al paso del calor desde la placa a la cubierta, que tenga en cuenta tanto la transferencia de calor por radiación como por convección. Que se expresa como:

$$h_{pe} + h_{re} = \frac{1}{R_1} \quad (5.5)$$

Siendo h_{re} el coeficiente de radiación de la placa a la cubierta dado por la expresión:

$$h_{re} = \frac{\sigma \cdot (t_p + t_e) \cdot (t_p^2 + t_e^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_e} - 1} \quad (5.6)$$

Así la ecuación queda:

$$P_{pe} = \frac{A \cdot (t_p - t_e)}{R_1} \quad (5.7)$$

Para evaluar la potencia perdida, desde la cubierta, a temperatura t_e , hasta el aire, a temperatura t_a , hay que considerar que las pérdidas por convección tienen lugar entre t_e y t_a , mientras que el intercambio radiante tiene lugar entre las temperaturas t_e y t_{cielo} , y se considera el cielo como un cuerpo negro con poder emisor igual a la unidad.

Según esto la expresión que determina las pérdidas es:

$$P_{ea} = A \cdot h_{ea} \cdot (t_e - t_a) + \frac{\sigma \cdot A \cdot (t_e^4 - t_{cielo}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{cielo}} + \frac{1}{\epsilon_e} - 1} \quad (5.8)$$

Que al considerar el poder emisor del cielo igual a la unidad, queda:

$$P_{ea} = A \cdot (t_e - t_a) \cdot \left[h_{ea} + \frac{\sigma \cdot \epsilon_e \cdot (t_e^4 - t_{cielo}^4)}{(t_e - t_a)} \right] \quad (5.9)$$

El coeficiente de transferencia de calor por efecto del viento, viene dado por la siguiente relación (según McAdams):

$$h_{ea} = 5,7 + 3,8 \cdot V \quad (5.10)$$

siendo V la velocidad del viento expresada en m/s.

Llamando

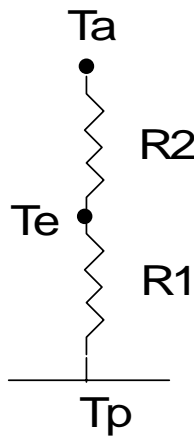
$$h_{rc} = \frac{\sigma \cdot \epsilon_e \cdot (t_e^4 - t_{cielo}^4)}{(t_e - t_a)} \quad (5.11)$$

Se obtiene la resistencia térmica entre la cubierta y el exterior:

$$\frac{1}{R_2} = h_{ea} + h_{rc} \quad (5.12)$$

De esta forma las pérdidas a través de la cubierta quedan definidas como:

$$P_c = \frac{A \cdot (t_p - t_a)}{R_1 + R_2} = A \cdot U_p \cdot (t_p - t_a) \quad (5.13)$$



[Graf. 9] Circuito equivalente de resistencias térmicas

Siendo U_p el coeficiente de pérdidas por las cubiertas. Este proceso de cálculo es obligatoriamente iterativo, ya que se desconoce la temperatura de la cubierta. Por lo que se hace una primera aproximación con la que se obtienen los coeficientes de convección y radiación, y el flujo de calor que se pierde. Una vez se tiene este dato, se vuelve a calcular la temperatura de la cubierta. Este proceso se repite hasta que la variación de la temperatura de la cubierta obtenida sea despreciable.

Pérdidas a través de la parte posterior y laterales

En este caso las pérdidas se producen por conducción a través del aislante que rodea al colector. Las dimensiones del colector se denominan: ancho W , largo L y espesor e . El aislamiento tiene de espesor l_p en la parte posterior y l_l en los laterales y una conductividad k_{ais} .

Pérdidas en la parte posterior: En la parte posterior, el aislante está apoyado en un policarbonato opaco de espesor l_{poli} y conductividad k_{poli} que da al interior de la vivienda a temperatura t_i

$$P_p = \frac{A \cdot (t_p - t_i)}{\frac{l_p}{k_{ais}} + \frac{l_{poli}}{k_{poli}}} = \frac{A \cdot (t_p - t_i)}{R_3} \quad (5.14)$$

Donde se ha definido R_3 , como la resistencia térmica entre la placa y el interior de la vivienda:

$$R_3 = \frac{l_p}{k_{ais}} + \frac{l_{poli}}{k_{poli}} \quad (5.15)$$

La ecuación de las pérdidas en los laterales es análoga a la anterior, teniendo en cuenta que tras el aislante se tiene una viga IPN que separa el colector del módulo de la ventana que tiene aire en su interior a temperatura, t_v :

$$P_l = \frac{2 \cdot (W + L) \cdot e \cdot (t_p - t_v)}{\frac{l_l}{k_{ais}} + \frac{l_{IPN}}{k_{IPN}}} \quad (5.16)$$

Se debe tener en cuenta el efecto del borde que hace que las pérdidas sean algo mayores. Por lo que a la ecuación anterior se le añade una cantidad constante:

$$P_l = \frac{2 \cdot (W + L) \cdot (2e + l_p) \cdot (t_p - t_v)}{\frac{l_l}{k_{ais}} + \frac{l_{IPN}}{k_{IPN}}} \quad (5.17)$$

Sin embargo, al considerar la temperatura, t_v , del aire encerrado en los módulos de ventana, se comprueba que este aire estará a una temperatura igual o incluso mayor que la del aire del colector, ya que recibe la misma radiación y no tiene un circuito de refrigerante que absorba parte de este calor. Por lo tanto la transferencia de calor por los lados no será una pérdida sino una ganancia, aunque no se tendrá en cuenta para situarse en la situación más desfavorable.

La potencia total perdida, será la suma de todas las anteriores:

$$P_T = P_c + P_p = \frac{A}{R_1 + R_2} \cdot (t_p - t_a) + \frac{A}{R_3} \cdot (t_p - t_i) \quad (5.18)$$

Las pérdidas dependen de la temperatura interior de la vivienda, la temperatura exterior, y la temperatura de la placa. Las temperaturas exterior e interior varían según el día del año tal y como se especificó en las condiciones iniciales de cálculo.

La temperatura de la placa, será la misma que la temperatura del refrigerante, ya que este entra y sale del colector a la misma temperatura habiendo sufrido un cambio de fase. Y a su vez la temperatura del refrigerante depende de las necesidades térmicas de la casa, y es diferente para cada circuito.

Como se puede ver, el cálculo de U_L se hace muy complejo (e incluso imposible de calcular con exactitud dada la variabilidad de las condiciones meteorológicas, de las necesidades de la vivienda, etc.), por lo que dada la precisión de los cálculos que en este proyecto se persigue, se utilizará un valor constante para este coeficiente, asumiendo que en el rango de temperaturas en las que el colector trabajará, su variación será pequeña, introduciendo por tanto un error despreciable.

Se define el coeficiente global de transferencia de calor, como:

$$U_{CO} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (5.19)$$

Cuyo valor numérico, obtenido tras realizar los cálculos anteriores, es de:

$$U_{co} = 3.48 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

V.1.3. Rendimiento del Colector.

Balance de energía en el colector

$$Q_u = F_R \cdot A [I_{gl} (\tau\alpha) - U_{co} \cdot (t_{fr} - t_a)] \quad (5.20)$$

Q_u : Calor útil transmitido al fluido, por unidad de tiempo.

I_{gl} : Radiación global que alcanza a los colectores.

U_{co} : Coeficiente global de transferencia de calor del colector.

t_{fr} : Temperatura del refrigerante.

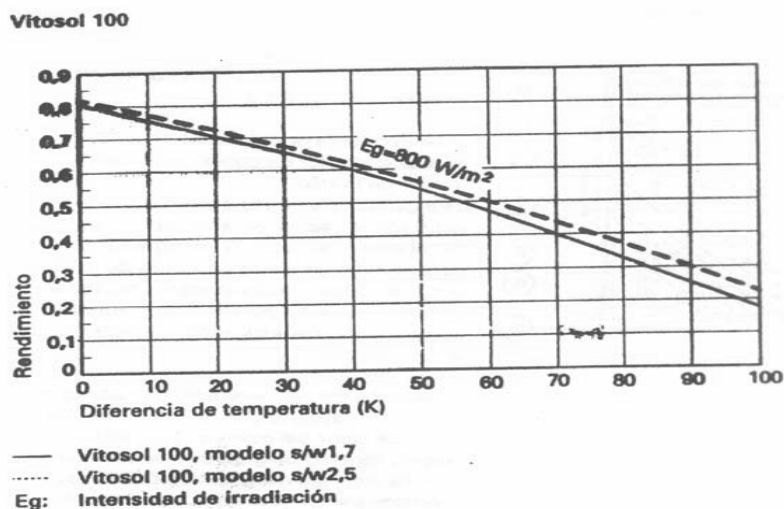
t_a : Temperatura ambiente.

El coeficiente F_R puede ser interpretado como la relación entre el calor transferido al fluido a su paso por el colector y el calor que se transfiere si la temperatura de la placa es la misma que la del fluido a la entrada del colector. En este caso, debido a que se utiliza el refrigerante volátil, que mantiene su temperatura constante en todo el circuito, y ya que se trabaja en régimen permanente, la temperatura de la placa se puede considerar igual a la del refrigerante, y el coeficiente F_R es igual a uno.

De la ecuación anterior se puede determinar el rendimiento del colector, dividiendo Q_u por la radiación global interceptada.

$$\eta_{co} = \frac{Q_u}{I_{gl} A} = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_{co} \cdot \frac{t_{fr} - t_a}{I_{gl}} \quad (5.21)$$

Esta ecuación representa la curva de normalización del colector



[Graf. 10] Curva de normalización del colector

V.1.4. Cálculo del Factor de Cobertura Solar.

El problema para realizar el cálculo de la energía útil es que todas las pérdidas de calor dependen de la temperatura del fluido refrigerante, que es imposible de estimar con anterioridad, ya que depende por un lado de muchos factores climatológicos impredecibles, y por otro lado de las propias necesidades de la vivienda que aunque se pueden estimar, tampoco se conocen con exactitud.

Por eso se han desarrollado varios métodos de cálculo para hallar la energía útil que proporcionan los sistemas solares, según la temperatura del proceso. Los resultados así obtenidos son ampliamente aceptados como procesos de cálculo suficientemente exactos para largas estimaciones, pero no han de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario. Se utilizan cuando no se disponen los medios para efectuar la simulación por ordenador del sistema durante largos periodos, o para aplicaciones a escala residencial, como la de este proyecto, en los que el presupuesto del proyecto no permite los gastos de la simulación.

Para los procesos de baja temperatura se utiliza el método de la f -Chart. Para los procesos de media temperatura, limitado hasta 100°C, se utiliza el método Φ , f -Chart. El método TRNSYS se puede utilizar para temperaturas entre 20°C y 350°C.

Método *f*-Chart.

El método *f*-Chart, desarrollado por Klein y Beckman (1977) es uno de los pioneros y sus parámetros de diseño han sido adoptados y utilizados por los otros métodos.

Se basa en el cálculo de un factor solar *f*, que es la división entre la potencia solar instantánea captada y la carga puntual requerida. Representa la cobertura del sistema solar, es decir, su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y su rendimiento medio en un largo período de tiempo.

$$f = \frac{Q_{capt}}{Q_{nec}} \quad (5.22)$$

Este método se aplica a procesos donde el calor se consume a baja temperatura y se utiliza para diseñar las instalaciones de Agua Caliente Sanitaria.

Resultados.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Total consumo [Termias]:	387	340	357	326	327	307	308	317	317	337	346	387	4.057
Ahorros [Termias]:	237	277	305	313	315	307	308	317	317	253	238	221	3.406
Ahorros [MJ]	990	1.158	1.278	1.310	1.318	1.286	1.288	1.329	1.326	1.059	995	925	14.263
Fracción solar [%]:	61,1	81,2	85,4	95,8	96,2	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0	68,8	57,1	84,0
Rendimiento medio [%] de la instalación solar	52,8	50,3	49,0	46,1	46,7	44,8	38,4	39,2	45,6	50,3	51,3	53,3	46,4

[Tabla 4]. Factor de cobertura solar

La fracción solar media a lo largo del año, es del 84%.

Multiplicando el factor de cobertura solar por las necesidades de la vivienda se obtiene la energía útil media de cada mes.

La cobertura solar calculada con este método está un poco sobrestimada, ya que no se tienen en cuenta la absorción de calor de los componentes del sistema solar hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

V.1.5. Almacenamiento de Calor en el Sistema de Energía Solar.

Los elementos que componen el colector solar absorben un calor para elevar su temperatura desde la temperatura ambiente inicial hasta las temperaturas de trabajo.

Para realizar la estimación de estas pérdidas, se necesita conocer la temperatura media del refrigerante para cada mes, por lo que nos encontramos con el mismo problema que para el cálculo de las pérdidas por transferencia de calor al ambiente.

Se va a realizar una primera estimación de estas pérdidas suponiendo un caso muy desfavorable: el mes de enero en el que la temperatura al amanecer es muy baja y una temperatura de trabajo de 50°C. Con esto se pretende hallar el orden de magnitud de estas pérdidas para ver si son relevantes.

Calor absorbido por el captador

El captador llegará a alcanzar la misma temperatura que el refrigerante (t_r), ya que este mantendrá su temperatura entre la entrada y la salida del colector.

Así el calor absorbido es:

$$q_{a,pl} = m_{pl} \cdot C_{p,pl} \cdot (t_r - t_{ai}) \quad (5.31)$$

Donde t_{ai} , es la temperatura ambiente exterior en el momento de salida del sol.

Calor absorbido por la cubierta de vidrio

$$q_{a,cub} = m_{cub} \cdot C_{cub} \cdot (t_{cub} - t_{ai}) \quad (5.32)$$

Para el cálculo de t_{cub} , se necesitan conocer los coeficientes de película de convección y radiación entre la placa y la cubierta. Sin embargo, como el calor absorbido por la cubierta es pequeño no se comete un error considerable si se considera:

$$t_{cub} = \frac{t_a + t_r}{2} \quad (5.33)$$

Calor absorbido por el aislante térmico

Se supone, que el aislante térmico está perfectamente unido a la placa y que no existe aire entre ambos, así la transmisión de calor se realiza por conducción, y no habrá resistencia térmica por convección, además si se supone el colector estanco y se desprecia la transmisión de calor por convección dentro de la caja del colector, se tiene:

$$t_{ais} = \frac{t_r + t_{cub}}{2} \quad (5.34)$$

$$q_{a,ais} = m_{ais} \cdot C_{p,ais} \cdot (t_{ais} - t_{ai}) \quad (5.35)$$

Calor absorbido por la cámara de aire

$$q_{a,air} = m_{air} \cdot C_{p,air} \cdot (t_{air} - t_{ai}) \quad (5.36)$$

Calor absorbido por las tuberías de cobre

$$q_{a,tub} = m_{tub} \cdot C_{p,tub} \cdot (t_r - t_{ai}) \quad (5.37)$$

Resultado

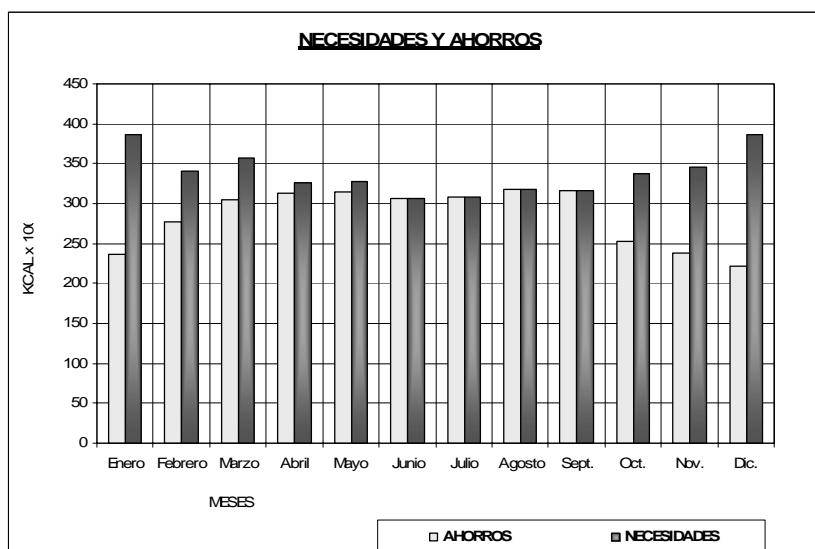
Bajo las condiciones expuestas al principio del apartado, las pérdidas por absorción de calor son de:

$$q = 52,47 \text{ MJ/mes}$$

Teniendo en cuenta que la energía útil recibida ese mes, es de 990 MJ, las pérdidas por absorción representan un 5,3% de aquella. Por lo que debido a la dificultad de estimar la temperatura de trabajo, y a la magnitud que estas pérdidas representan, se considera justificado el despreciarlas.

V.1.6. Resultados.

Finalmente, se tienen los siguientes resultados de energía útil. Se representa junto a las necesidades de la vivienda para ver gráficamente los ahorros obtenidos.



[Graf. 11]. Necesidades y ahorros térmicos de la vivienda

En los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre el sistema solar cubrirá la mayor parte de las necesidades de la vivienda.

La **fracción solar media anual es del 84%** (ahorro medio anual), el resto de la energía se cubre con la fuente auxiliar de energía convencional.

V.2. SISTEMA DE CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

V.2.1. Red de tuberías y selección de bombas de circulación.

La red de tuberías del sistema de climatización será bajo suelo, se realizará con tuberías de polietileno reticulado cumpliendo la **UNE 53381-89**.

La red estará compuesta de tuberías generales, realizadas en tubo preaislado marca MICROFLEX con diámetro de 40 para la B/C, que discurrirán verticalmente desde la azotea, donde estará situada la bomba de calor hasta el cuarto de calderas. Del cuarto de calderas partirán las generales con diámetros de 25 mm a planta alta y sótano y 32 mm a planta baja hasta los distintos departamentos definidos en este proyecto.

A su vez, estas generales se ramificarán horizontalmente para dar servicio a cada colector o distribuidor, de los que salen los circuitos de suelo radiante para cada dependencia.

La bomba de circulación para la instalación será la que viene montada en la Bomba de Calor ya que las características de la misma son suficientes para las necesidades de presión y caudal demandadas. Además de esta, serán instaladas otras bombas circuladoras que se detallarán mas adelante.

El anexo de cálculo 5 de esta memoria, en el que se ha tenido en cuenta los caudales, temperaturas y características físicas del fluido, determina los diámetros a instalar, así como la presión necesaria de la bomba aceleradora y las demás características de esta: consumo, potencia absorbida, revoluciones, etc. El trazado de la red de tuberías puede observarse en los planos de plantas.

V.2.2. Método de cálculo de la red de distribución.

El caudal que circulará por cada circuito lo calculamos con la expresión siguiente:

$$Q = \frac{\text{Potencia}}{\text{Saltotérmico}} \quad (5.38)$$

Q = Caudal en litros/hora

$$S = \frac{Q}{V \cdot 3.6} \quad (5.39)$$

S = Sección tubería en mm²

V = velocidad en m/s

$$f = \left(4 \cdot \frac{S}{3.1416}\right)^{-2} \quad (5.40)$$

f = Diámetro interior en mm.

La velocidad máxima será la que nos proporcione el fabricante del material según la **ITE 03.8**, pero en cualquier caso, y para evitar la producción de ruidos, no se superarán 0,9 m/s en las zonas habitadas.

Una vez fijado el diámetro comercial calcularemos las pérdidas de carga en cada tramo de la red, teniendo en cuenta que las presiones diferenciales en las acometidas de las distintas unidades terminales no serán mayor que el 15 % del valor medio según **ITE 03.7**.

Para el cálculo de dicha pérdida utilizaremos la fórmula de la **NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (NBS)**:

$$J = \frac{C \cdot V}{2 \cdot 9.81 \cdot f_b} \cdot (mm.cda / m) \quad (5.41)$$

J = Pérdida unitaria en mm cda/m.

V = Velocidad en m/s

f = Diámetro interior en m.

a, b y C = Constantes adimensionales

Los valores de las constantes de la fórmula van en función del tipo de tubería empleado y de la temperatura del agua, valores que se indican en la tabla siguiente:

	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>C a 50°C</u>	<u>C a 80°C</u>
Tuberías muy lisas	1,75	1,25	37000	42000
Tuberías lisas	1,83	1,17	31500	34000
Tuberías rugosas	1,92	1,08	27500	29000

Las pérdidas de carga localizadas producidas por las diferentes piezas especiales, las calcularemos por el método de la longitud equivalente aplicando la fórmula:

$$Lequi = 0.36 \cdot m \cdot (0.185 \cdot V + 0.944) \cdot (61.4 \cdot f + 0.0785) \quad (5.42)$$

donde el diámetro irá expresado en m. y la velocidad en m/s, siendo m un factor dependiente del tipo de pieza y que fijaremos según la tabla:

	<u>Codos</u>	<u>T</u>	<u>Válvulas</u>	<u>Radiador + Válvula</u>
m =	0.7 - 1	0.7 - 1	0.5 - 0.7	5 - 7

El llenado de la instalación se hará manualmente mediante válvula de esfera, antes de está se instalara una válvula de retención, el diámetro de la tubería será de mayor de 20 mm. Según UNE 02.8.2

En cada red de distribución se instalará un sistema de vaciado mediante válvula de esfera protegida contra maniobras accidentales, el diámetro de la tubería será de mayor de 20 mm. Según UNE 02.8.2.

V.2.3. Selección de las bombas de circulación.

La bomba de circulación la dimensionaremos para vencer la pérdida de carga total que se produzca en el punto más desfavorable de la red o circuito crítico, calculado con las hipótesis anteriores, y aplicando las ecuaciones:

- Caudal Bomba:

$$Q_b = \frac{Q_{tub}}{1000} \cdot \left(\frac{m^3}{h}\right) \quad (5.43)$$

- Potencia Bomba:

$$P_b = \frac{Q_b \cdot P_{rc} \cdot 9.81}{r \cdot 3.6} \cdot (W) \quad (5.44)$$

donde: - Qtub = Caudal total tubería (potencia/salto térmico) l/h

- Prc = Pérdida de carga del circuito crítico m cda

- r = Rendimiento eléctrico

- Qb = Caudal de la bomba m3/h

- Pb = Potencia de la bomba W

Circuito general	Bomba	Presión circuito (mca)	Caudal(m³/h)
Departamento1	UPS 25/60	5 mca	0.9 m3/h
Departamento2	UPS 25/80	7 mca	1.9 m3/h
Departamento3	UPS 25/60	5 mca	0.9 m3/h
Recirculación	UPN 20/15	1.5 mca	0.45 m3/h
Energía Solar	UPS 25/60	5 mca	0.9 m3/h
Circuito de ACS	UPS 25/60	5 mca	0.9 m3/h

[Tabla 5] Selección de bomba de circulación

V.3. SISTEMA DE SUELO RADIANTE.

Descripción del sistema:

El sistema escogido para la climatización de la vivienda, se trata de un sistema limpio, rápido de instalar, flexible y de gran calidad.

El sistema por suelo radiante, opera normalmente con una caída de temperatura de aproximadamente 5 a 15 °C a través de los circuitos de tuberías. Se basa en el uso de colectores de alimentación y retorno, de los circuitos de tuberías que son controlados desde ambos extremos.

COMPONENTES

Sistema de terminales: El sistema de emisión de calor al ambiente elegido es el “Suelo Radiante”. Este sistema de calefacción esta constituido por unos serpentines de tubo de Polietileno Reticulado “Pex Gol”, instalados debajo del pavimento de las dependencias calefactadas, que parten y finalizan en unos colectores. El agua calentada por la bomba de calor aire/agua circula a través de los serpentines calentando el suelo, y desde este, mediante radiación cede el calor al ambiente.

Tubos de polietileno reticulado con todas las ventajas que conlleva la utilización del mismo en cuanto a resistencia a temperatura y presión, longevidad, flexibilidad, baja rugosidad, etc...Estos tubos son el componente principal de la instalación. Están fabricados con polietileno de alta densidad y reticulados. El reticulado permite la estructura de red tridimensional, por enlace químico, que hace que el tubo no tenga problemas de que se disuelva o se funda. Por esto se debe de tener en cuenta que el tubo

antes de la instalación se encuentre en perfectas condiciones ya que un defecto del mismo podría acarrear problemas en su funcionamiento y/o duración.

Estas tuberías no se ven afectadas por el hormigón o mortero y absorben la expansión térmica evitando de la formación de grietas en las tuberías o el hormigón. A continuación se muestran tablas con las propiedades más importantes de estos tubos.

Propiedades mecánicas	Valor	Unidad	Standard
Densidad	938	kg/mm ³	-
Resistencia a la tracción: 20°C	19-25	N/mm ²	DIN 53455
100°C	9-13	N/mm ²	
Modulo de Elasticidad: 20°C	800-900	N/mm ²	DIN 53457
100°C	300-350	N/mm ²	
Alargamiento a la rotura: 20°C	300-350	%	DIN 53455
100°C	500-700	%	
Rotura por impacto: 20°C	Sin fractura	KJ/m ²	DIN 53453
140°C	Sin fractura	KJ/m ²	
Absorción de agua a 20°C	0,01	mg/4d	DIN 53472
Coeficiente de fricción	0,08-1	-	-
Tensión superficial	34*10 ⁻³	N/m	-

Propiedades Mecánicas	Valor	Unidad
Conductividad térmica	0,35	W/m°C
Coef. De dilatación lineal: 20°C	1,4*10 ⁻⁴	m/m°C
100°C	2,05*10 ⁻⁴	m/m°C
Temperatura de reblandecimiento	133	°C
Calor específico	2,3	KJ/kg°C

Presión de Reventamiento a +20 °C	
Dimensión del tubo	Presión aproximada
15x2,5	92,8 kg/cm ²
16x1,8	50,7 kg/cm ²
18x2,5	64,8 kg/cm ²
20x1,9	42,0 kg/cm ²
22x3,0	68,2 kg/cm ²
25x2,3	35,0 kg/cm ²
32x2,9	40,0 kg/cm ²

Propiedades eléctricas	Valor	Unidad
Resistencia específica interna (20 °C)	1.10 ¹⁵	(Ohm.nios.m)
Constante dieléctrica (20 °C)	2,3	-
Factor de pérdidas dieléctricas (20 °C/50 Hz)	1.10 ⁻³	-
Ruptura del dieléctrico	60-90	kV/mm

[Tablas 6] PROPIEDADES DE TUBOS POLIETILENO RETICULADO (PEXGOL)

Banda perimetral de aislamiento: De polietileno extruido, muy flexible, que se sitúa entre la plancha de aislamiento y el tabique de obra. Su función es evitar puentes térmicos a la vez que absorber las dilataciones del mortero.

Plancha de aislamiento moldeada: De alta calidad que facilita sensiblemente la instalación y evita puentes térmicos al tratarse de planchas unidas entre sí.

Esta especialmente diseñada para acoger a las tuberías. Consta de unos tetones en los que se inserta la tubería con facilidad. Los tetones de la plancha de aislamiento permiten la instalación con 10, 15, 20 y 30 cm de separación entre tubos. El diseño de las planchas facilita el acoplamiento machihembrado entre ellas.

Existe otra forma de sujetar los tubos en caso de disponer de poca altura de la estancia u otras aplicaciones como puede ser la instalación en paredes, como podría ser en piscinas. Esta otra forma de sujeción es mediante mallazo que mediante unos clips de plásticos, los tubos quedan sujetos a dicho mallazo.

Grapas: De plástico para plancha de aislamiento moldeado que serán insertadas en los tetones de la plancha para sujetar firme y rápidamente el tubo sobre la plancha según se vaya completando el tendido.

Colectores de alimentación y retorno: Tendrán tantas salidas como locales haya que climatizar.

Los colectores se suministran completos, uno de ellos para la alimentación y otro para el retorno. Deben tener juntas de estanqueidad y adaptadores para conectar las tuberías. Los colectores de alimentación llevan una válvula y un mando de accionamiento manual para cada circuito de tuberías. El mando de la válvula puede ser reemplazado por un actuador, que puede ser accionado a distancia automáticamente mediante un termostato ambiente.

Los colectores de retorno se suministran con una válvula-detentor que incorpora un manguito sobre el vástago para maniobrar con llave allen para controlar el flujo de agua a través de los circuitos de tuberías del sistema, equilibrando hidráulicamente los circuitos. Los siguientes accesorios completan un kit de colector de distribución:

- Válvula de esfera.
- Colector con detentor incorporado.
- Colector con válvulas manuales de regulación.
- Terminales de colector.
- Purgador automático.
- Válvulas de vaciado.
- Soporte para colector.
- Acoplamientos.

Es necesario prestar atención a la localización de colectores antes de realizar la instalación, se buscara una situación más o menos centrada para mantener al mínimo la longitud de la tubería que se distribuye entre colectores y las zonas individuales de calentamiento. Esto ayudará a equilibrar el sistema y a mejorar el control de la temperatura de las habitaciones.

El asunto estético es de menor importancia, ya que estos pueden ser escondidos en la pared o en el interior de armarios empotrados y no visibles. La instalación será efectuada para un fácil mantenimiento en caso de ser necesario.

Film barrera antihumedad de polietileno: Que se extiende sobre el forjado en contacto con el terreno para evitar posible filtraciones de humedad por capilaridad.

Aditivo fluidificante para mortero: Ayuda a eliminar burbujas de aire y mejora el contacto del mortero con el tubo.

Caja de colectores para empotrar: con diferentes medidas, en función del tamaño del colector, que lo alojara y sujetara.

Producción térmica:

Existirán 2 generadores de calor: uno tipo bomba de calor aire/agua y otro consistirá en una caldera de condensación, ambas con potencia tal, que cubra la demanda térmica total de la vivienda. Según **ITE 09.2** se ha elegido una unidad de producción de calor que dispone de cuatro etapas de funcionamiento para adecuar el consumo energético a las demandas de la vivienda en cada momento, empleándose como combustible la energía eléctrica para la bomba de calor y gas natural para la caldera.

También serán instalados paneles solares de apoyo, y depósitos de acumulación para asegurarnos la producción de una gran cantidad de agua caliente, lo que conllevará un enorme ahorro anual en producción de ACS.

La bomba de calor aire agua dispone de un dispositivo de seguridad que impide que se alcancen temperaturas o presiones mayores de las de tarado. Estos elementos son los presostatos de alta y baja para el circuito frigorífico, válvula de seguridad para el circuito se primario y secundario del circuito secundario. Con estos elementos de seguridad se cumple lo especificado en la **ITE 02.15.5**.

El elemento generador de calor, bomba de calor aire agua, utilizará el combustible para el que ha sido diseñado y que hemos citado anteriormente en este capítulo. Este tipo de unidad térmica no admite la utilización de otra fuente de energía que la específica para la que ha sido diseñada (energía eléctrica).

Para el dimensionamiento de la bomba de calor, debemos tener en cuenta que esta debe cubrir completamente el consumo de calor hasta una temperatura exterior de aproximadamente -5°C . El dimensionamiento de la potencia de la bomba de calor repercute en el importe de las inversiones y en los costes de climatización que se producen anualmente. Cuanto mayor es la potencia de la bomba, mayor serán los costes de dicha inversión y menores los costes de climatización que se producen anualmente.

El dimensionamiento de la bomba se realiza con base en el consumo de calor del edificio.

Para realizar el cálculo y elegir la unidad de producción de calor para calefacción partiremos de las necesidades térmicas de las dependencias calculadas en anexo de cálculo nº 2 de esta Memoria, las incrementaremos: en un 5 % para ajustar las pérdidas producidas a través de la red de distribución según lo dispuesto en la **ITE 03.6**. Aplicadas las operaciones anteriores, obtenemos los siguientes resultados:

Necesidades térmicas: $43.078 \times 1.05 = 45231.9$ W (Globales)

EUWYB20KZW1:

Potencia Útil = Potencia térmica $\times 1.05 = 42$ Kw para refrigeración.

Potencia Útil = Potencia térmica $\times 1.05 = 48$ Kw para calefacción

COP de la unidad = 2,64

EER=2.46

CALDERA DE CONDENSACION A GAS: VITODENS 300

Potencia Útil = Potencia térmica $\times 1.05 = 72.94$ kW

Rendimiento = 95 %

PANELES SOLARES

Se instalara una fuente de calor alternativa que servirá para la producción de ACS.

En el Anexo 4 se detalla el cálculo realizado para el dimensionamiento de los paneles.

Generadores de calor para climatización. Bomba de calor y Caldera.

Rendimiento s/ Directiva del Consejo 92/42/CEE a potencia nominal $\geq 90\%$
($87,5 + 1,5 \cdot \text{Log} P_n$)

Rendimiento s/ Directiva del Consejo 92/42/CEE a carga parcial $\geq 90\%$ ($87,5 + 1,5 \cdot \text{Log} P_n$)

- Fabricante: **DAIKIN**
- Modelo: **EUWYB20KZW1**
- Descripción: Bomba de calor aire agua.
- EER/COP: 2.46/2.64
- Potencia nominal: 42-48 kW.
- Capacidad agua: 66 litros.
- Peso aproximado: 612 kg
- Tensión de alimentación: 380 v
- Consumo total: 17,1-18,2 (Refr-Calec) kW
- Potencia entregada por la máquina en función de la temperatura exterior.

El modelo escogido, incorpora:

Tipo B: = EUWY Enfriadora + modulo hidráulico integrado

- Bomba
- Depósito de expansión
- Depósito inercial
- componentes hidráulicas

- Fabricante: **VISSMAN**
- Modelo: **VITODENS 300**
- Descripción: Caldera de condensación a gas.
- Rendimiento: 95 %.
- Potencia nominal: 69.47 kW.
- Capacidad de agua: 9.5 litros.
- Peso aproximado: 90 kg.
- Tensión de alimentación: 220 v.
- Consumo total: 85 W.

- Presión máxima circuito: 3 bar.
- Temperatura máxima circuito: 50 °C.
- Pérdida de carga: 40,0 mmca.
- Temperatura máxima de circuito: 70 °C.

Ver anexo adjunto.

Regulación y control.

El objetivo a seguir en la regulación es alcanzar el mayor confort en los locales con el mínimo coste energético, manteniendo la temperatura ambiente deseada.

La regulación viene determinada por los siguientes agentes: factores externos “orientación, zona climática, dirección del viento...etc.” y factores internos “iluminación, hornos, ocupación, renovaciones...etc...”. Los elementos principales de la regulación son:

- Centralitas de regulación: son los elementos de toma de decisión. Cuando la temperatura del ambiente varia, reciben una señal de la sonda y comandan los actuadores hasta compensar esa variación.
- Sondas: que pueden ser de ambiente, de impulsión, exterior, etc. Son unos lectores de temperaturas, equipados con un elemento sensor, que enviaran constantemente una señal a la centralita de regulación.
- Actuadores: que pueden ser válvulas de 2, 3 y 4 vías, cabezas termostáticas, etc... Están comandados por la centralita y son los encargados de compensar la variación de la temperatura.
- Termostatos: es posible realizar un control primario de la temperatura del local mediante un termostato ambiente que comande directamente una cabeza termostática, sin instalar centralita de regulación. Estos elementos pueden estar accionados eléctrica o mecánicamente.

Existen varias formas de realizar la regulación de la instalación:

- 1-) Control sobre la temperatura del agua de impulsión en el generador.
- 2-) Control sobre la temperatura de retorno de la fuente de calor.
- 3-) Control de la temperatura ambiente.
- 4-) Control de la temperatura ambiente en función de la temperatura exterior.
- 5-) Control de la temperatura del agua de impulsión en función de la temperatura exterior.

En este caso se ha escogido controlar en función de la temperatura de retorno, la temperatura ambiente es directamente proporcional a la temperatura superficial del suelo y, por ello, a la temperatura del agua en las tuberías. Por esto hablar de control de temperatura ambiente es hablar de la temperatura del agua. Hay que tener en cuenta que en el suelo radiante, los pequeños incrementos en la temperatura del suelo, suponen una variación de calor emitido importante.

Consiste en mantener la temperatura de retorno constante, para ello colocaremos en la tubería de retorno un termostato de contacto. Este tipo de control actúa de la siguiente forma:

- Seleccionamos una temperatura de agua de retorno, para que con unas determinadas condiciones, por ejemplo 0°C de temperatura exterior y orientación norte..., la temperatura ambiente sea de 20°C.
- Cuando la demanda de calor aumenta, la temperatura del suelo disminuye y, por tanto, el agua de retorno llegará más baja que la seleccionada. Entonces, el termostato recogerá esta información y mandará poner en marcha el generador para compensar la variación de temperatura.
- Cuando la demanda de calor disminuya, la temperatura de retorno del agua de retorno llegará más alta que la seleccionada. Entonces el termostato recogerá esta información y mandará parar el generador para disminuir el incremento de temperatura.

Bomba de Calor

La bomba de calor tiene un compresor tipo scroll, que entra a funcionar en secuencia, teniendo 2 etapas de funcionamiento, de manera que se ajuste la producción a la demanda térmica de cada momento.

El generador se regulara mediante temperatura en retorno del agua.

Climatización:

La regulación realizada es a través de termostatos por colector o zona. Este termostato actúa sobre una válvula termostática, abriendo o cerrando el paso del agua al circuito correspondiente.

Tanto en la ida como en el retorno de cada circuito que componen el suelo radiante, se instalarán válvulas de corte y regulación que permitan independizar y regular el caudal que circula por cada uno de ellos, y de esta manera, la temperatura de cada dependencia.

Con estos sistemas de control la instalación podrá mantener en los locales las condiciones de diseño previstas ajustando al mismo tiempo, los consumos de energía a las variaciones de la carga térmica. Cumpliendo de esta manera la **ITE 02.11**.

La regulación del Suelo Radiante es idéntica a la de los sistemas convencionales. La única diferencia es, que considerando la inercia térmica del sistema, los programas de aumento y reducción de temperaturas en caso de programación de tiempos, se desplazan hacia delante 2 o 3 horas (ej. Si queremos subir la temperatura para obtener 20°C a las 8 de la mañana, hay que programar el inicio de la calefacción a las 5/6 de la mañana, si queremos reducir la temperatura a 16°C a las 11 de la noche, hay que reducir a las 8 de la tarde).

Consiste en una caja de conexiones electrónica para cada termostato conectado a ellas por cable.

Posee una conexión para control a bomba, de modo que esta solo se ponga en marcha cuando alguno de los termostatos se lo demanden. Así, la caja de conexiones recibe la señal eléctrica procedente de cada termostato, la analiza y envía una señal eléctrica a la válvula electrotérmico correspondiente para que éste, mediante una regulación del caudal entrante al circuito, contrarreste la demanda generada.

Unidades terminales de suelo radiante.

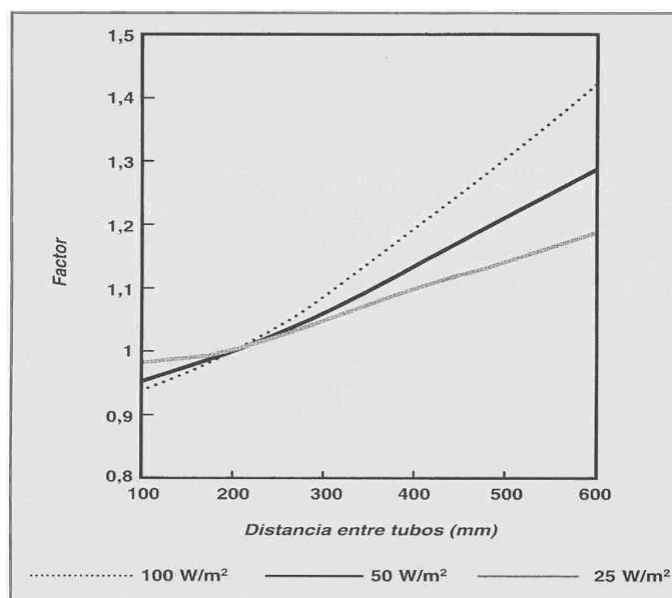
Diseño de circuitos.

La variable más importante en el diseño de una climatización bajo suelo es, por supuesto, la demanda de calor de los locales.

Pero hay 2 variables que determinan el diseño; el incremento de temperaturas del agua entre impulsión y retorno y el paso de tuberías. Una combinación adecuada de estas variables proporciona un diseño eficaz del sistema a instalar.

- Incremento de temperaturas: Para conseguir que el diseño de la instalación se optimice al máximo, deberemos mantener en los cálculos de la instalación una diferencia de temperatura entre los circuitos de tuberías de ida y retorno de 5 a 15 °C. De esta forma, evitaremos que la temperatura del suelo no sea uniforme.
- Paso de la tubería: Basándonos en los aspectos económicos, un paso de tubería de 200 mm "distancia entre centro" optimiza el diseño y la instalación. Este paso de tuberías es bastante común.

Para zonas marginales, aquellas cercanas a paredes o ventanas donde las pérdidas son mayores, el diseño se hace utilizando otro paso. En estos casos se modifica la temperatura del agua para alcanzar la misma emisión de calor. Otro factor importante es la variación de temperatura sobre la superficie del suelo.



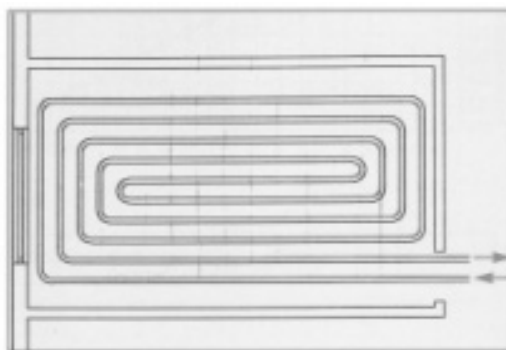
[Graf. 12]. Temperatura del agua en función del paso de la tubería

Por ejemplo, si en lugar de un paso de 200, se usa uno de 100 se requiere una reducción de la temperatura del agua de 5-10%. Esto se traduce en un aumento de longitud de tubería para la misma área, lo cual encarecería la instalación.

Configuración de circuitos de tuberías.

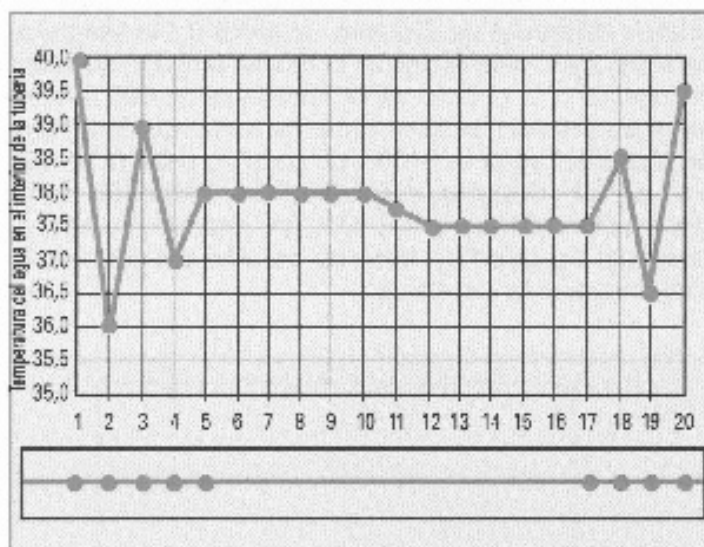
La configuración escogida para los serpentines proporciona una distribución de temperaturas muy homogénea. Esta es adecuada para una pequeña separación entre tubos, lo cual nos proporciona una adecuada instalación para las características de edificación del recinto ya que existe una gran superficie de paredes que son ventanales donde las cargas térmicas son elevadas.

La configuración de los circuitos escogida es la siguiente, ya que proporciona una distribución de temperaturas muy homogénea:



[Graf. 13] Configuración escogida de la tubería

El siguiente gráfico nos muestra la distribución del agua de ida y retorno en el interior del tubo:

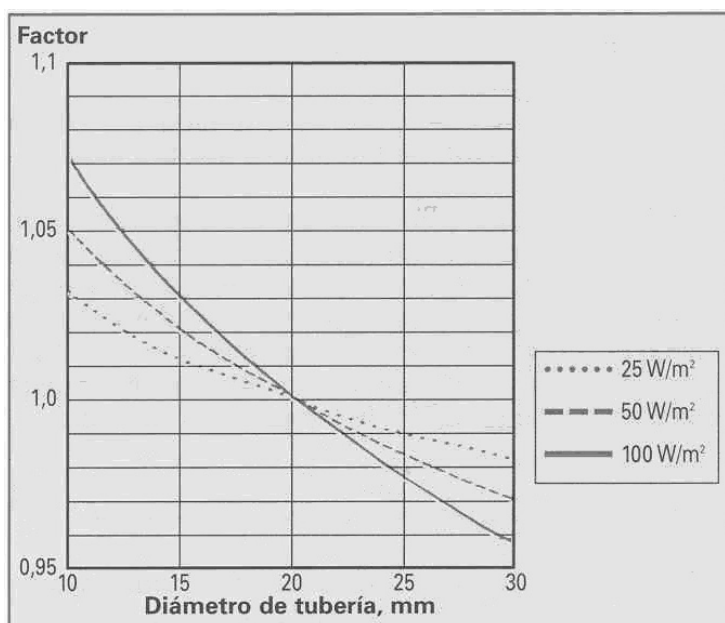


[Graf.14]. Temperatura del agua en el interior de ida y retorno

Diámetro de la tubería.

En el diseño de las instalaciones bajo suelo, existen distintos diámetros a instalar, en este caso se ha escogido una tubería de dimensiones de 16 x 1.8 mm y 20 x 1.9 mm, debido a las exigencias de producción de calor, de caída de presión y/o aspectos prácticos como la flexibilidad de la tubería.

En función de los distintos diámetros a instalar, la superficie de emisión será distinta también, lo que nos obliga a realizar una compensación de la temperatura del agua:

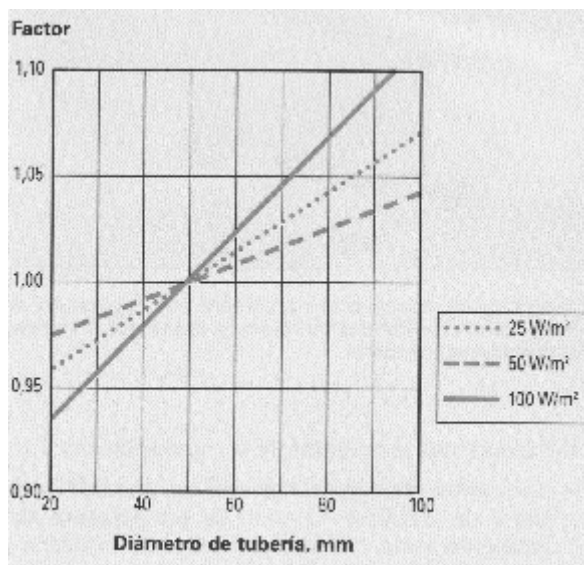


[Graf. 15] Temperatura del agua en función del diámetro de la tubería

Si se decide utilizar una tubería de 16 mm en lugar de una de 20 mm, la temperatura del agua deberá incrementarse aproximadamente un 2% lo que equivale a multiplicarla por un factor 1,02. Hay que señalar que para mantener el caudal de agua constante, la velocidad del agua se incrementara, así como las pérdidas de carga.

Profundidad de la tubería.

La profundidad a la que se instala la tubería esta directamente relacionada con la temperatura del agua; es decir, en un sistema donde la tubería este instalada a más profundidad, la temperatura del agua deberá ser superior. Al mismo tiempo, la temperatura del suelo será mas uniforme:



[graf. 16]. Temperatura del agua en función de la profundidad de la tubería

En el mortero se recomienda una profundidad de entre 30 y 70 mm por encima del tubo. Si la tubería está instalada demasiado cerca de la superficie, la temperatura del suelo podrá variar demasiado. Si la tubería está instalada muy profundamente, parte de la energía calorífica quedará almacenada. Esta situación hará aumentar el tiempo de respuesta.

Basándonos en las propiedades del mortero y del agua, vale la pena hacer observar la capacidad de almacenamiento de energía del agua, que es más del doble que la del mortero.

Capacidad calorífica	Agua	4,18	kJ/KgK
	Mortero	1	kJ/KgK
Densidad	Agua	1	Kg/dm ³
	Mortero	2	Kg/dm ³

[tabla 7] Propiedades mortero y agua

En las instalaciones donde el material que hay encima del mortero tenga una conductividad térmica baja (como por ejemplo, madera), la tubería puede encontrarse más cerca de la superficie. Es importante evitar que se produzcan bolsas de aire alrededor de la tubería.

Temperatura de impulsión y paso entre tubos.

La temperatura del agua de impulsión que circula por las tuberías de la calefacción bajo suelo viene determinada por el valor de la demanda calorífica q , por la temperatura ambiente, por las características del recubrimiento del suelo y por el espesor del mortero por encima del tubo.

Los sistemas de calefacción bajo suelo se pueden diseñar para saltos de temperaturas del agua de un máximo de 15°C . Cuanto menor sea este salto, más homogénea será la temperatura del suelo.

$$T_{\text{impulsion}} - T_{\text{retorno}} < 15^{\circ}\text{C}$$

Esto nos indica que la temperatura de impulsión será aproximadamente 7.5°C por encima de la media y la de retorno de 7.5°C menor que la media.

Una vez conocidos los valores de temperaturas ambientes, demandas caloríficas, debemos escoger el circuito más desfavorable para el cálculo de la temperatura de impulsión.

Este corresponderá a la habitación que tenga mayor valor de pérdidas por metro cuadrado. Con esto calcularemos la temperatura de impulsión de todos los circuitos, el incremento de temperatura y el paso entre tubos de todos los circuitos.

El sistema de terminales elegido para atender las necesidades térmicas es el de calefacción bajo suelo mediante tubos de Polietileno reticulado.

Los colectores, como mínimo, llevarán un circuito para cada dependencia a calefactar y dispondrán de una válvula y un mando de accionamiento manual para cada circuito de tuberías, y el colector de retorno una válvula detentor para maniobrar con una llave y así lograr el equilibrio hidráulico del sistema.

Para realizar el cálculo de la temperatura de impulsión del agua y el paso entre tubos se parte de los siguientes datos dependientes de la carga térmica del local y las condiciones térmicas del tipo de suelo que se emplea, así como del espesor del mortero:

- q = Demanda calorífica en W/m^2
- T_i = Temperatura ambiente en $^{\circ}C$
- λ_{suelo} = Conductividad de calor del suelo en $W/m^{\circ}C$
- e_{suelo} = Espesor del suelo en m
- R_{suelo} = Resistividad del suelo en $m^2^{\circ}C/W$
- α_{suelo} = Coeficiente de transmisión del suelo en W/m^2
- e_{mortero} = espesor del mortero en cm

Las ecuaciones a aplicar son:

$$\bullet \quad q = \frac{\text{Potencia calorífica}(W)}{\text{Área del suelo}(m^2)} \quad (5.45)$$

$$\bullet \quad R_{\text{suelo}} = \frac{e_{\text{suelo}}}{\lambda_{\text{suelo}}} \quad (5.46)$$

$$\bullet \quad \alpha_{\text{suelo}} = \frac{\lambda_{\text{suelo}}}{e_{\text{suelo}}} \quad (5.47)$$

Conocidos estos valores y teniendo en cuenta que la temperatura de impulsión del agua deberá ser la misma para todos los circuitos y que, por ello, será la temperatura de salida del grupo térmico, se escoge el circuito más desfavorable para, de esta manera, poder realizar el cálculo de la misma.

Este circuito corresponderá generalmente al local o habitación donde se produzca la mayor demanda calorífica, que se llama circuito crítico, y es el que determina todos los cálculos hidráulicos junto con las bombas de impulsión del grupo térmico.

Con estos valores se aplican las tablas y curvas existentes facilitadas por el fabricante y se calcula la temperatura de impulsión del agua, el paso entre tubos y el salto térmico ΔT_{α} .

El salto térmico ΔT ha de estar comprendido entre 5 y 15 °C y la temperatura superficial del suelo T_{suelo} no ha de superar en ningún caso los 29 °C en las zonas normalmente ocupadas.

$$\bullet \quad \Delta T_{\alpha} = \frac{q}{\alpha_{suelo}} \quad (5.48)$$

$$\bullet \quad T_{suelo} = \Delta T_{\alpha} + T_i \leq 29^{\circ} C \quad (5.49)$$

En los casos concretos en los que la temperatura superficial del suelo supere los 29 °C, se ha de proceder dividiendo el local en dos zonas, una normalmente ocupada y que se denomina **área residencial**, donde la temperatura del suelo estará siempre por debajo de los 29 °C y otra que se llama **área perimetral**, generalmente no ocupada y en la que se permite que la temperatura supere dicha cifra.

Es decir, y a modo de resumen:

Área residencial: zona normalmente ocupada, es decir con mayores períodos de ocupación del local. Corresponde siempre a las zonas centrales del mismo. La temperatura del suelo es inferior a 29 °C.

Área perimetral: zonas generalmente no ocupadas o con períodos cortos de ocupación. Corresponde a zonas de paso del local o zonas donde habitualmente se sitúa el mobiliario. Se define como máximo de 1 metro de ancho alrededor de las paredes del local. La temperatura del suelo se encuentra comprendida entre 29 °C y 35 °C.

Dilatación térmica.

En instalaciones bajo suelo radiante, cuando se utilizan tuberías de 20x1,9mm, las fuerzas de dilatación térmica son despreciables. Esto nos indica que las tuberías no dañan el mortero

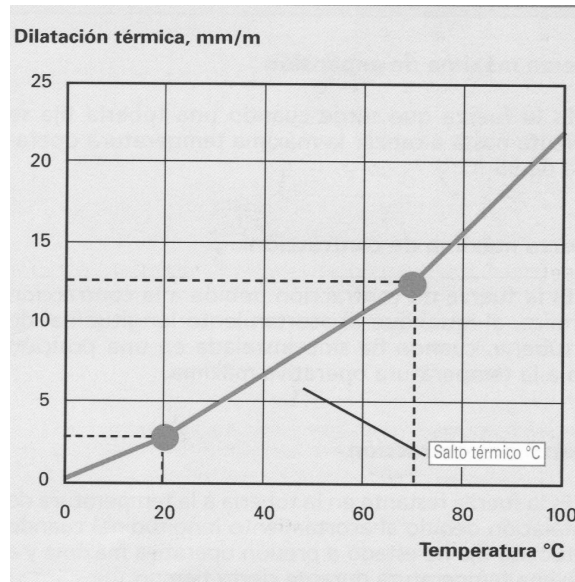


Fig.V.10. Dilatación térmica en función de la temperatura

Fuerzas de expansión y contracción.

La expansión longitudinal no puede tener lugar cuando las tuberías están empotradas en hormigón. Sin embargo, la expansión transversal producirá como resultado un espesor de la pared ligeramente incrementado, que no dañará el mortero ni perjudicará al tubo.

Dimensión (mm)	Max. Fuerza expansión (N)	Max. Fuerza contracción (N)	Fuerza contracción (N)
20x1,9	100	250	50
22x3,0	400	650	250
25x2,3	350	550	200
25x3,5	500	800	300
28x4,0	700	1100	400
32x2,9	600	1000	400
32x4,4	800	1300	500
40x3,7	900	1500	600
40x5,5	1300	2100	800
50x4,6	1400	2300	900
50x6,9	2100	3500	1300
63x5,8	2300	3800	1500
63x8,7	3300	5400	2100
75x6,8	3200	5300	2100
90x8,2	4600	7500	2900
110x10	6900	11300	4400

[Tabla 8] Fuerzas expansión y contracción

Fuerza máxima de expansión: Es la fuerza que surge cuando la tubería fija se calienta hasta alcanzar la máxima temperatura operativa de 95°C.

Fuerza máxima de contracción: Es la fuerza de contracción debida a la contracción térmica, al igual que al acortamiento longitudinal de la tubería, cuando ha sido instalada en una posición fija a la temperatura operativa máxima.

Fuerza de contracción: Es la fuerza restante en la tubería a la temperatura de instalación debido al acortamiento longitudinal cuando la tubería fija ha estado a presión operativa máxima y a máxima temperatura durante cierto tiempo.

Elección de tubos de polietileno reticulado “PEX-GOL”.

A la hora de escoger las tuberías plásticas para la instalación, conviene hacer un breve análisis comparativo para conocer el futuro comportamiento respecto a la durabilidad y temperaturas de utilización del sistema, y así poder escoger la opción más adecuada. Los materiales escogidos en esta comparación con sus correspondientes normas UNE son:

- Polietileno reticulado PE-X UNE 53.381:89
- Polipropileno (Copolímero) PP-C UNE 53.380-2:91
- Polibutileno PB UNE 53.415EX:2000
- Policloruro de vinilo clorado PVC-C UNE 53.428:90Ex

Realizando una comparativa según las respectivas normas UNE, se observa las siguientes tablas respecto a esfuerzos tangenciales (Mpa) en función del tiempo de funcionamiento y temperaturas de utilización de 60 y 90 °C.

	PEX		PP		PB		PVC-C	
	60	90	60	90	60	90	60	90
Inicial	7,2	5,3	9,95	6,05	12,5	8	30,5	16
1 Año	6,25	4,4	5,9	3,48	11,5	6	14,8	4,9
5 Años	6,15	4,35	5,4	2,4	9,95	5,2	13	-
10 Años	6,1	4,3	5,2	-	9,4	5	12,5	-
25 Años	6,05	4,25	5	-	9,2	-	12	-
50 Años	6	-	4,8	-	8,95	-	11,5	-

	PEX		PP		PB		PVC-C	
	60	%	60	%	60	%	60	%
Inicial	7,2	100	9,95	100	12,5	100	30,5	100
1 Año	6,25	86,81	5,9	59,3	11,5	92	14,8	48,52
5 Años	6,15	85,42	5,4	54,27	9,95	79,6	13	42,62
10 Años	6,1	84,72	5,2	52,6	9,4	75,2	12,5	40,98
25 Años	6,05	84,03	5	50,25	9,2	73,6	12	39,34
50 Años	6	83,33	4,8	48,24	8,95	71,6	11,5	37,7

	PEX		PP		PB		PVC-C	
	90	%	90	%	90	%	90	%
Inicial	5,3	100	6,05	100	8	100	16	100
1 Año	4,4	83,02	3,48	57,52	6	75	4,9	30,63
5 Años	4,35	82,08	2,4	39,67	5,2	65	-	-
10 Años	4,3	81,13	-	33,06	5	62,5	-	-
25 Años	4,25	80,19	-	-	-	-	-	-
50 Años	-	-	-	-	-	-	-	-

[tabla 9] Comportamiento de tuberías en función de Tª y esfuerzo

Puede observarse como para la temperatura de trabajo de 60°C, las características mecánicas de las PEX, tienen un mejor comportamiento con el transcurso de los años, reduciendo en menor porcentaje las características de estas.

Realizando el mismo análisis para una temperatura superior de 90°C los resultados son muy similares a los anteriores, por lo que para la instalación propuesta, desde el punto de vista de durabilidad, escogemos las tuberías PEX.

El uso del tubo PEXGOL con tratamiento "EVAL", evita que el oxígeno penetre en el circuito de calefacción y ataque los componentes metálicos del sistema, provocando averías en bombas, válvulas, vasos de expansión, quemadores, etc.

Las instalaciones realizadas con tubo "EVAL" además de aumentar la longitud de vida del sistema, reduce drásticamente el mantenimiento de las mismas.



[Graf. 17] Esquema de tuberías PEX GOL

V.4. DESCRIPCION Y CÁLCULO DE LOS SISTEMAS DE LOS SISTEMAS DE EXPANSIÓN.

Vaso de expansión del circuito de climatización.

Para calcular los sistemas de expansión se aplican todas las recomendaciones y cálculos referidos en la norma **UNE 100-155-88** partiendo de los datos ya calculados de volúmenes de agua en los circuitos y de las temperaturas y presiones de diseño.

Según indica la norma **UNE 100-155-88** en su apartado 5, el coeficiente de expansión, al estar la temperatura del agua comprendida entre 30 °C y 70 °C (ambas incluidas), ha de determinarse mediante la expresión (3) del citado apartado:

$$C_e = (-1.75 + 0.064 \cdot T_{ea} + 0.0036 \cdot T_{ea}^2) \cdot 10^{-3} \quad (5.50)$$

La presión máxima de funcionamiento del vaso será ligeramente menor que la presión de tarado de la válvula de seguridad que, a su vez, será inferior a la menor entre las presiones máximas de trabajo (a la temperatura de funcionamiento de los equipos y aparatos que forman parte del circuito). Por tanto se elige el menor entre los siguientes valores:

$$\blacksquare \quad P_M = 0.9 \cdot P_{vs} + 1 \quad (\text{es el 10 \% menor que } P_{vs}) \quad (5.51)$$

$$\blacksquare \quad P_M = P_{vs} + 0.65 \quad (\text{es 0.35 bar menor que } P_{vs}) \quad (5.52)$$

Conocida la presión máxima de funcionamiento se calcula entonces el coeficiente de presión (apartado 6 de la norma), que representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso:

$$\blacksquare \quad C_p = \frac{V_t}{V_u} \quad (5.53)$$

$$\blacksquare \quad C_p = \frac{PM}{(P_M - P_m)} \quad (5.54)$$

El volumen del vaso se determina con la ecuación:

$$\blacksquare \quad V_t = Vol \cdot C_p \cdot C_e \quad (5.55)$$

donde:

- V_t = Volumen total del Vaso
- Vol = Volumen de la instalación
- C_p = Coeficiente de presión
- C_e = Coeficiente de expansión
- P_M = Presión máxima
- P_m = Presión mínima de llenado

Aplicando la norma **UNE 100-157-89**, ha de disponerse de una válvula de seguridad para evitar sobrepresiones en el circuito y una tubería de expansión que conecte el vaso con el circuito y cuyo diámetro se calcula según la ecuación (1) del apartado 6 de la citada norma:

$$\blacksquare \quad D = 15 + 1.5 \cdot P^{0.5} \quad (5.56)$$

$$\blacksquare \quad P = \text{Potencia nominal del generador en kW}$$

$$\blacksquare \quad D \Rightarrow 25 \text{ mm}$$

La tubería de seguridad no presentará estrechamientos y se montará con inclinación hacia el vaso de expansión para garantizar la circulación del agua e impedir la acumulación de aire.

Aplicando todos los criterios y ecuaciones expuestas anteriormente se obtienen los resultados siguientes para los vasos de expansión:

<i>VASO DE EXPANSIÓN CIRCUITO DE CLIMATIZACIÓN</i>	
Vaso expansión	Cerrado
Volumen agua en columnas distrib. (Va)	14.65 litros
Volumen agua circuitos s. radiante (Vr)	204.87 litros
Volumen agua (Vc)	9.5 litros
Volumen total de la instalación (Vol)	229.03 litros
Presión de llenado (Pll)	1,50 kg/cm ²
Presión de tarado (Pvs)	3,0 kg/cm ²
Coeficiente de expansión (Ce)	0,0113
Volumen útil del vaso (Vu)	4.62 litros.
Presión máxima PM = Pvs + 0,65	3,65 kg/cm ²
Coeficiente de presión (Cp)	3,17
Volumen total (Vt)	21.98 litros
F tubería expansión (D)	33 mm \geq 25 mm según UNE 100-157

[Tabla 10] Vaso de expansión de climatización

Vaso de expansión del circuito de energía solar.

Un depósito de expansión de membrana es un depósito de expansión cerrado cuya cámara de gas “relleno de nitrógeno” está separada de la cámara de líquidos “medio portador de calor” mediante una membrana y cuya presión inicial depende de la altura de la instalación.

Se debe ajustar la presión inicial: $(1.5\text{bar} + (0.1 \text{ bar/m} \cdot \text{altura estática}))$. El interceptor hidráulico debe ser de $0.005 \cdot \text{Volumen del fluido de toda la instalación}$, pero de 3 litros como mínimo.

Para evitar de forma segura la formación de vapor en la fase de funcionamiento, en los colectores en estado frío debe haber una sobrepresión de al menos 1,5 bar. La presión inicial del depósito de expansión es entonces $0.1 \cdot h$. En estado caliente, la presión de la instalación sube aproximadamente de 1 a 2 bar.

La temperatura máxima de funcionamiento en los paneles VITOSOL 100 es de -30 a 120 °C.

Para que cuando se produzca formación de vapor “estancamiento” no pueda salir ningún medio portador de calor de la válvula de seguridad, el tamaño del depósito de expansión se debe dimensionar lo suficientemente grande para que, cuando se produzca formación de vapor, pueda recoger el contenido del colector.

Para proteger la membrana de una carga de temperatura inadmisibles. No se puede dar una fórmula de validez general para el cálculo del tamaño necesario del depósito.

Sin embargo, el volumen del depósito debe ser como mínimo del 50 % del volumen de la instalación.

$$V_N = (V_v + V_2 + z \cdot V_k) \cdot (p_e + 1) / (p_e - (p_{st} + 0.5)) \quad (5.57)$$

- V_N = Volumen nominal del depósito de expansión en litros.
- V_v = Interceptor hidráulico en litros, donde:

$$V_v = 0.005 \cdot V_A, \quad (5.58)$$

“min. 3 litros”.

V_A = Volumen de fluido de la instalación completa.

- V_2 = Aumento del volumen con el calentamiento de la instalación.

$$V_2 = V_A * \beta, \quad (5.59)$$

donde $\beta = 0.13$, Coeficiente de expansión.

- p_e = Sobrepresión final admisible en bar.

$$p_e = p_{si} - 0.1 * p_{si} \quad (5.60)$$

p_{si} = Presión de escape de la válvula de seguridad.

- p_{st} = Presión inicial del nitrógeno del depósito del vaso de expansión.

$$p_{st} = 1.5 + 0.1 * h \text{ bar} \quad (5.61)$$

h = altura estática de la instalación en m.

- z = Número de colectores.
- V_k = Capacidad del colector en litros.

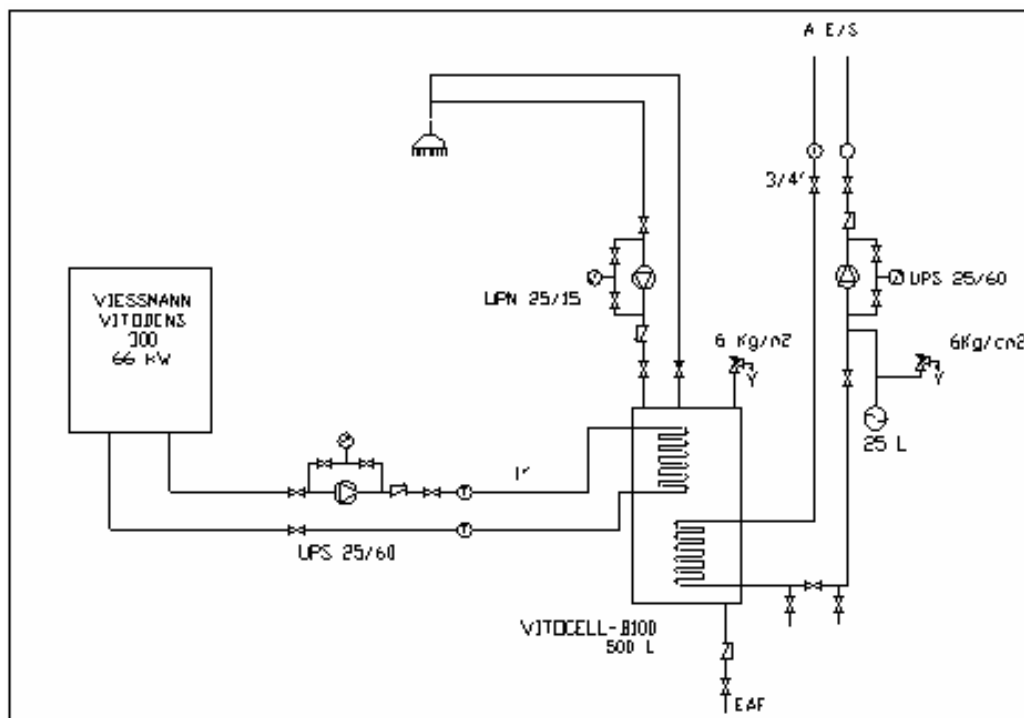
VASO DE EXPANSIÓN CIRCUITO DE ENERGIA SOLAR	
Vaso expansión	Cerrado
Volumen agua en columnas distrib. (Va)	6.28 litros
Volumen agua en paneles solares	3.2 litros.
Volumen total de la instalación (Vol)	22.04 litros.
Presión inicial del vaso	2.4 kg/cm ²
Sobrepresión final admisible	5.4 kg/cm ²
Volumen interceptor hidráulico	3 litros
Aumento del volumen con el calentamiento	2.8652 litros.
Coeficiente expansión	0.13
Volumen total del vaso de expansión (Vt)	23.2 litros

[Tabla 11] Vaso expansión energía solar

V.5. SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Principio de funcionamiento general

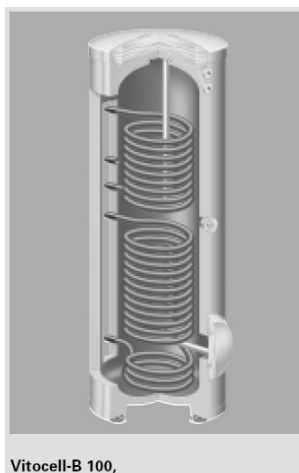
El sistema de calentamiento del agua se basa en un circuito cerrado, que recibe calor del sistema de captación de energía solar. Este circuito primario mediante un intercambio de calor en el acumulador, traslada el calor a dicho acumulador mediante un serpentín. La toma de agua de la red se realiza directamente a este. Previendo que el sistema de captación de energía solar no alcance a cubrir las necesidades de ACS, todos los días del año, el aporte lo realiza la caldera de condensación (cuyas características se describen en el apartado descriptivo de la fuente auxiliar de energía). Cuando la temperatura de captación solar no cubra la diseñada (47°C) la caldera entra en funcionamiento calentando mediante otro serpentín interior que dispone el acumulador escogido hasta alcanzar dicha temperatura.



[Graf. 18]. Esquema ACS

Intercambiador de calor.

El intercambiador utilizado, es un serpentín interior en el tanque de almacenamiento, de forma que se minimicen las pérdidas por realizar el intercambio con el típico intercambiador de placas. Este viene incorporado en el propio tanque de almacenamiento.



[Graf. 19] Esquema vitocell B100 500 litros

V.6. FUENTE AUXILIAR DE ENERGÍA

El disponer de una fuente auxiliar, es necesario en todas las aplicaciones que utilicen energía solar. Solo en algunas localizaciones donde la presencia de nubes es testimonial se puede pensar en un sistema de producción de ACS íntegramente solar.

Para realizar este apoyo: Serpentín o resistencias en la parte superior del tanque confiando en la estratificación. Es el método más económico.

La fuente auxiliar, solo debe proporcionar energía a los sistemas de ACS y calefacción, ya que la normativa no permite utilizar fuentes de energía no renovables para esta aplicación, y además sería un gasto de energía poco justificado.

La caldera se debe seleccionar de tal forma que sea capaz de cubrir las necesidades térmicas de la vivienda, por sí sola. Ya que se debe tener en cuenta el supuesto en el que el sistema de captación de energía solar no aporte potencia.

Agua caliente sanitaria: El agua de red, después de entrar en el acumulador donde recibe la aportación de calor solar mediante serpentín, pasa por el segundo serpentín del acumulador que dispone de un sensor de temperatura. Si la temperatura del agua, no alcanza los 45°C la caldera se pone en funcionamiento proporcionando el calor necesario.

Climatización: El sistema de suelo radiante, realiza un circuito cerrado, en el que el caudal pasa el anillo que recibe la energía de la bomba de calor, en el caso de no alcanzarse la temperatura necesaria, entraría en funcionamiento la caldera. En el anexo (3) se calculó que la temperatura de impulsión del suelo radiante es de 52°C de media, esta temperatura se consigue con una válvula de tres vías que mezcla el agua caliente del intercambiador y la caldera con agua de recirculación del suelo radiante que se desvía para que no se caliente. Se fija en 45°C la temperatura mínima que se debe alcanzar, la caldera entra en funcionamiento siempre que capte una temperatura menor.

Con caldera escogida, el agua del suelo radiante no pasa por el mismo sitio que el agua sanitaria, por lo que no hay riesgo de que esta se ensucie o contamine

Dentro del circuito hidráulico de la caldera, esta dispone de 2 entradas y salidas para dos posiciones de funcionamiento:

1) Función climatización: Cuando se conecta la calefacción, a través de un sistema electrónico se pasa una señal al motor que a su vez acciona la válvula para que abra la vía de climatización. De esta forma el agua circula por el anillo cerrado, se calienta en la bomba de calor y pasa a dicho anillo donde posteriormente partirán las distintas generales a los departamentos escogidos de la vivienda realizando de esta forma la función de climatización.

2) Función de ACS.: Cuando se abre un grifo para obtener ACS. la caldera recibe una señal del fluxostato (componente que percibe el paso de agua por la tubería). Manda una orden a la válvula de tres vías abriendo la vía del intercambiador agua-agua. De esta forma el agua que calentaba los radiadores pasará al circuito de agua sanitaria. En el

caso en que previamente no estuviese la calefacción en marcha, la caldera daría la orden de encender la bomba y el quemador al mismo tiempo que acciona la válvula de tres vías.

La caldera que proporcionará la energía auxiliar, se debe elegir con una potencia suficiente para cubrir todas las necesidades energéticas (sin suponer aporte de energía del sistema solar), en el caso mas desfavorable, es decir la carga de diseño.

Las necesidades energéticas para la situación más desfavorable, son:

- Calefacción: 47,38 KW

- ACS: 1.81 KW

A las que ya se les ha aplicado un factor de seguridad del 10%.

La caldera elegida es una caldera mixta de circuito estanco, de la empresa Viessmann. Se ha elegido un modelo estanco y con una potencia de 66 kW, que es suficiente para las necesidades calculadas, “VITODENS 300”. Funciona con propano. El resto de sus características técnicas se pueden consultar en el anexo 5.

CALCULO DE CHIMENEA DE EVACUACIÓN DE PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.

El diseño de la chimenea se va a realizar de acuerdo con la norma ITE 02.14 y el dimensionamiento de la misma según la ITE 03.11, que nos remite a su vez a la UNE 123001-94.

Siendo la caldera estanca, no se precisa calculo de chimenea de salida de humos, solo se verifica que los tramos instalados cumplen con lo especificado por el fabricante. Tramos de chimeneas instalados:

- Codo de salida de caldera con toma de análisis de 90°.
- Tramo horizontal de 1 m de longitud con caída hacia el exterior de 3%.

Comprobamos con las siguientes tablas que estos valores son admisibles por el fabricante:

CALDERA VITODENS 300: Ver anexo 5.

Asimismo las salidas de humos cumplirán con lo especificado en la norma UNE-60.670 relativa a las distancia mínimas a respetar entre el extremo final del conducto de evacuación de gases y los distintos elementos de la edificación y otras posibles salidas.

VI. VIABILIDAD ECONÓMICA Y PRESUPUESTO

PERÍODOS DE AMORTIZACIÓN

Una instalación de suelo radiante junto con energía solar térmica supone un coste de inversión, elevado. Ello se debe a que además de la bomba de calor que es necesaria como instalación, y también la caldera auxiliar que sería necesaria para la producción de ACS y por si la bomba no cubriera totalmente las necesidades. Por ello, es necesario calcular el período de amortización de esa inversión de colectores solares, para saber si es viable o no. Una vez transcurrido ese período de amortización, se comenzará a amortizar el resto de la instalación, ya que se sigue obteniendo ahorro energético sin ningún coste adicional.

La forma de evaluar este período de amortización de la inversión suplementaria, va a consistir en conocer primero el valor de esa inversión suplementaria y luego en definir un parámetro que caracterice dicha amortización.

EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN SUPLEMENTARIA.

Básicamente, la inversión inicial suplementaria consistirá en todos los costes derivados de una instalación solar de estas características, dado que los costes fijos que implica son comunes a los de la instalación convencional.

Es decir, en el presupuesto realizado, se puede identificar como inversión suplementaria: material solar.

$$I = 3170,69 \text{ €}$$

VALOR ACTUALIZADO NETO

Se entiende por VAN el valor actual neto de una inversión, es la diferencia entre los ahorros netos totales durante un periodo de tiempo determinado y la inversión neta. Se define como:

$$VAN = A \cdot f_a - I \quad (7.1)$$

donde:

f_a : el factor de actualización del capital.

A: el ahorro (beneficio) que produce la inversión.

I: el valor de la inversión en euros.

El factor de actualización del capital toma diferentes expresiones según los criterios económicos que se apliquen a la inversión. Aquí se supone el caso más sencillo que consiste en suponer que la inversión se efectúa el año cero y empieza a rendir el final del primer año, con lo que este factor vale:

$$f_a = \frac{(1+r)^n - 1}{r \cdot (1+r)^n} \quad (7.2)$$

siendo:

r: la tasa de actualización del capital.

n: el número de años en los que se recuperará la inversión.

Actualmente la tasa de actualización del capital, obtenida del BCE es del 3,25 %.

Según este criterio, el mínimo que debe cumplirse para que la inversión sea rentable es $VAN = 0$. Cuando esto ocurra, se habrá alcanzado el tiempo de retorno de la inversión.

Para calcular el ahorro de la instalación (A), se debe considerar los ahorros de energía que produce la instalación. A partir de este dato, y calculando el coste del calor se tendrá el ahorro obtenido gracias a la instalación solar. El coste del calor se define como:

$$c = c' \cdot \frac{1}{PCI} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (7.3)$$

Siendo:

c' : Coste unitario del combustible

PCI: el poder calorífico del combustible

η : el rendimiento de la conversión de energía primaria en energía útil.

Energía consumida: 0,07386784 €/KWh

Alquiler contador: 1,13€/mes

IVA: 16% del total

El ahorro (euros/año) será:

$$A = c \cdot Q_u \quad (7.4)$$

$$A = 394,69 \text{ €/año}$$

Siendo Q_u , el calor útil proporcionado por el sistema solar durante todo el año.
Así, se obtiene que se **recuperará la inversión** realizada en la instalación de energía solar térmica, en 9,45 **años**.

PRESUPUESTO ANEXO 7

VII. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Al igual que el resto de las energías renovables, las aplicaciones térmicas de la energía solar, presentan muchos beneficios medioambientales como evitar la contaminación atmosférica, nula o escasa repercusión sobre el suelo, el agua, la vegetación, etc.

La captación pasiva de energía solar también tiene muchos efectos positivos medioambientales, por un lado reduce la contaminación atmosférica al contribuir al calentamiento natural de la vivienda. Y por otro lado también es muy importante, aunque es difícil de cuantificar, el confort que proporciona a los usuarios de la vivienda: la mitad del tejado es una cubierta que deja pasar la luz, esto hace que en el interior de la vivienda exista un ambiente “no artificial” y más en contacto con la naturaleza. Gracias a las persianas orientables esta luz puede ser directa (y producirá calor) o indirecta para obtener luz pero no calor.

La utilización de la energía solar térmica en muchas ocasiones va asociada al entorno urbano, en el cual se presentan problemas medioambientales de diferentes tipos y entre los que destaca la contaminación atmosférica producida por vehículos, instalaciones térmicas domésticas, etc. Por tanto, la aplicación de esta tecnología, junto con la instalación de la Bomba de Calor tiene como ventaja el disminuir sensiblemente las emisiones gaseosas originadas por los sistemas de generación de agua caliente y climatización, precisamente en aquellas localizaciones en que este problema resulta más acusado.

El efecto invernadero, es un fenómeno muy conocido y comentado, debido a sus graves efectos posibles. Es causado por el aumento en la concentración de los gases de invernadero: el dióxido de carbono (CO₂), los clorofluorcarbonados (CFC), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O) y el ozono de la troposfera. La radiación solar pasa a través de ellos, pero atrapan y conservan el calor de la radiación infrarroja reflejada por la superficie del suelo, aumentando así la temperatura de la atmósfera bajo la influencia de cada uno de estos gases en el efecto de invernadero. El CO₂ causa alrededor del 30% del efecto.

La consecuencia principal del efecto de invernadero es el calentamiento global de la atmósfera, el cual puede provocar el deshielo de los polos y el aumento consecuente del nivel del mar, la inundación de ciudades costeras y ribereñas, y la pérdida de biodiversidad. Además contribuye a la desertización de áreas cercanas a los trópicos, y por tanto, al aumento de hambrunas y conflictos internacionales. Por ello, es necesario que toda la sociedad empiece a aplicar medidas para evitar y disminuir estos riesgos.

La manera de detener estos cambios climáticos es la utilización de energías limpias, entre ellas la energía solar tanto térmica como fotovoltaica, que además en nuestro país tiene un gran potencial.

El posible efecto visual negativo se puede paliar o enmascarar mediante la integración de los paneles solares térmicos de forma armoniosa con la edificación, que es uno de los objetivos de este proyecto.

ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

No se debe olvidar que el ahorro energético producido con la utilización de la energía solar contribuye a una reducción de la contaminación ambiental, el ahorro de energía eléctrica generado en esta instalación equivale a la reducción de la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), principalmente.

Las emisiones debidas a la combustión del gas natural por KWh producido, son:

- CO₂: 0,58 Kg/KWh
- CO: 0,13 g/KWh
- NO_x: 0,00837 g/KWh

Conociendo los ahorros de energía producidos, se calculan las reducciones de emisiones.

Los ahorros de energía obtenidos para cada mes, son los siguientes:

	Ahorro (MJ)
Enero	861
Febrero	1063
Marzo	1183
Abril	1243
Mayo	1254
Junio	1277
Julio	1460
Agosto	1487
Septiembre	1302
Octubre	952
Noviembre	881
Diciembre	796
Anual	13759

[Tabla 12] Ahorro energético

Reducción de emisiones

	CO ₂ (Kg)	CO (g)	Nox (g)
Enero	499,38	111,93	7,20657
Febrero	616,54	138,19	8,89731
Marzo	686,14	153,79	9,90171
Abril	720,94	161,59	10,40391
Mayo	727,32	163,02	10,49598
Junio	740,66	166,01	10,68849
Julio	846,8	189,8	12,2202
Agosto	862,46	193,31	12,44619
Septiembre	755,16	169,26	10,89774
Octubre	552,16	123,76	7,96824
Noviembre	510,98	114,53	7,37397
Diciembre	461,68	103,48	6,66252
Anual	7980,22	1788,67	115,16283

[Tabla 13] Reducción de emisiones

Las reducciones de emisiones a la atmósfera son muy importantes, la **reducción de 7,98 toneladas de CO₂ a la atmósfera al año**, se considera una de las razones mas importantes para realizar esta instalación.

X. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Una vez realizado el estudio detallado de climatización y ACS con la consecuente dirección de obra, se pasa a comentar los objetivos planteados al inicio de esta memoria.

Diseño de una instalación eficaz y autorregulable que consiga unas condiciones de confort cercanas a las ideales.

En primer lugar, resulta importante resaltar la importancia que se le debe dar al aislamiento de la vivienda. Este aspecto es de suma importancia para que la calidad de la climatización sea adecuada y no incurrir en un mayor coste de la instalación en funcionamiento. El suelo radiante supone un aislamiento adicional a la vivienda lo cual mejora los parámetros de aislamiento térmico y acústico.

En otro aspecto, resaltar la forma de realizar la climatización como es el suelo radiante, con este sistema se consiguen unas ventajas claramente diferenciadas frente a otros sistemas, se conseguirá una gran superficie a baja temperatura en contra posición a los típicos radiadores con alta temperatura y poca superficie de emisión y el confort obtenido debido a la distribución de temperaturas estratificada horizontalmente y en toda la superficie del recinto, permite disfrutar de unas condiciones cercanas a la que se consideran ideales:

- Temperatura del aire: suponiendo una media de 22 a 25°C en los pies y de 19 a 20 °C a la altura de la cabeza.
- Humedad relativa del aire: este sistema nos permite movernos en unos intervalos buenos al transportar agua a baja temperatura donde la evaporación será menor que con radiadores.
- Ruido: Las bajas velocidades de circulación del agua junto con la mínima formación de burbujas, que son eliminadas en purgadores, permiten que sea una instalación silenciosa.
- Partículas en el aire: el movimiento de aire del local es muy bajo, luego de esta forma se evitan agentes patógenos y polvo que pueden provocar sistemas como fan-coils. La circulación del aire es mínima, lo que permite un ambiente más confortable e higiénico, instalación adecuada a diseños avanzados de interiores al no ser visible

Se ha de hacer hincapié en una de las características, como es la autorregulación del sistema. El suelo radiante al trabajar en su mayor parte por radiación nos permite emitir calor al ambiente de una forma continuada y limpia, siempre que éste esté por encima de la temperatura del suelo. En el momento que no sea así, será el propio suelo el que actúe como foco frío, y será él el que tome calor del ambiente. Según principios termodinámicos el cuerpo caliente cede calor al cuerpo frío hasta que estos igualen sus temperaturas, no es ni más ni menos la base de la autorregulación del suelo radiante.

En el caso de encontrarnos con el sistema funcionando como refrescamiento, se introduce agua fría por los circuitos del suelo. De esta manera nos encontramos con un foco frío, continuo y a temperatura constante que nos servirá como sumidero de calor. La sensación que se obtiene de dicho refrescamiento, es de comodidad y relajación, ya que somos nosotros mismos los que cedemos calor, no como la tradicional climatización a través de aire, donde lo que se hace es enfriar a base de corrientes de aire.

En el suelo radiante no hay aparatos vistos de climatización (radiadores, fan-coils...) por lo que es de destacar los beneficios estéticos para decoración y aprovechamiento de toda la superficie de las distintas dependencias.

Cuantificar el ahorro energético y las emisiones contaminantes.

Referente a la producción de ACS, el sistema de captación solar es capaz de cubrir gran parte de las necesidades. Este resultado, dadas las limitaciones de este tipo de energía debido a las condiciones meteorológicas y al nivel de desarrollo de esta tecnología, es bastante positivo. Se podría mejorar mediante superficies selectivas de captación en los colectores, mayores volúmenes de almacenamiento de calor, y otras mejoras que se han ido descartando en la realización del proyecto por razones fundamentalmente económicas o arquitectónicas.

La reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera es considerable. Esto hace que este tipo de instalaciones sean muy positivas a nivel no solo del usuario final, sino de toda la sociedad.

Demostrar fiabilidad y viabilidad económica del sistema.

Con la instalación de tubos “PEX-GOL” de polietileno reticulado, queda de manifiesto la durabilidad de este sistema. No requiere temperaturas de impulsión del agua demasiado elevadas. Además las ventajas obtenidas mediante esta instalación entre otras: instalación de muy larga vida, ofrece a los usuarios economía a corto y largo plazo debido al ahorro energético, se adapta a cualquier fuente de energía y se puede combinar con otros sistemas de calefacción. La transmisión de calor por suelo radiante se produce por radiación, siendo la parte baja y más usadas de las estancias la más caliente, lo que produce considerables ahorros económicos.

Los circuitos de suelo radiante empiezan y terminan en colectores, no existen empalmes ni uniones bajo suelo, que junto con la calidad del tubo hace que sea una instalación segura y de bajo mantenimiento.

Analizando el periodo de amortización de la energía solar, se observa que además de las características comentadas respecto a los beneficios medioambientales, queda justificada la instalación de los paneles frente a la duración y mantenimiento de dicha instalación. Esto, considerando no solo términos económicos, ya que este tipo de energía se considera un mercado emergente que genera empleo y de obligada instalación por el CTE.

Trabajos futuros:

Una vez concluida esta memoria, es de relevancia comentar posibilidades a realizar debido a que las limitaciones del cliente, fundamentalmente económicas, han hecho que no sean estudiadas en este proyecto.

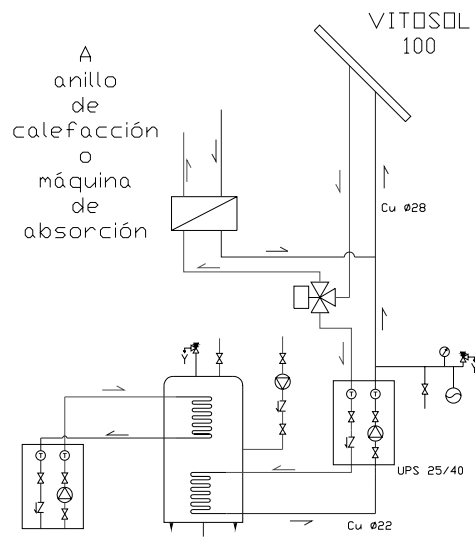
En primer lugar, como se ha comentado, la aplicación de refrescamiento no cubriría todas las necesidades en periodo de verano, por lo que para dimensionar bien la instalación en este periodo, en primer lugar se debería estudiar la carga térmica necesaria:

- *Carga sensible*: Cargas por transmisión a través de cerramientos opacos, transmisión a través de cerramientos traslucidos, ventilación o infiltración de aire exterior, ocupación del local, iluminación del local, máquinas presentes en el local.
- *Cargas latentes*: Carga latente por ventilación o infiltración de aire exterior y por ocupación del local

Una vez realizado este estudio, existen multitud de combinaciones a realizar:

Deshumidificación: En el caso de hablar de la refrigeración en verano, existe la posibilidad de apoyar la instalación mediante deshumidificadores que reducirán el mayor % de humedad que existe en verano y la posible condensación que se pueda producir.

Se ha observado que la energía solar en los meses de verano (junio, julio y agosto), es bastante alta por lo que se puede plantear en un futuro la posibilidad de añadir paneles solares a los existentes y utilizar esta energía sobrante para un sistema de aire acondicionado, mediante un ciclo de absorción. Para conseguir aprovechar esta energía sobrante, mediante un intercambiador de calor y válvula de 3 vías motorizada introducida en la instalación solar se conseguiría obtener la posibilidad de aprovechamiento. Con este mismo esquema, se podría dar otra aplicación no planteada y bastante usada en la actualidad, podría ser el uso de la energía solar para la producción de la calefacción por suelo radiante aprovechando las bajas temperaturas de impulsión del sistema. Para esto sería recomendable, dimensionar la instalación mediante otro método de cálculo distinto del f-chart, usado generalmente solo para producción de ACS, ya que este no resulta muy fiable para instalaciones de mayor envergadura donde se requieren mayores temperaturas. El método Φ , *f*-Chart generaliza el concepto de utilizabilidad, que se refiere a una localidad específica y a una orientación específica. Klein desarrolló unas curvas Φ generalizadas, haciendo uso de la naturaleza estadística de la radiación solar. Estas curvas solo dependen de K_T , y de dos variables: un factor geométrico R/R_n y la media mensual de la radiación crítica adimensional \bar{X}_c .



Posible ampliación

BIBLIOGRAFÍA:

- **“Manual técnico de diseño y cálculo para calefacción bajo suelo por agua caliente” (ESAK S.A. SYSTEM)**
- **Apuntes de “Calor y Frío Industrial”**
- **Apuntes de “Energías Renovables”**
- **“Código Técnico de Edificación (CTE)”**
- **Apuntes de “Ingeniería Térmica y de Fluidos”**
- **PFC: “DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN, AGUA CALIENTE SANITARIA Y CLIMATIZACIÓN DE PISCINA” (Sara Pérez Díaz 2004).**
- **Apuntes de “Instalaciones Fluidotérmicas”**
- **“Literatura review of uncertainty of análisis methods (f-Chart Program)” (Texas comisión on environment quality, 2004)**
- **“Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura” (IDEA e INTA, 2002)**
- **“Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios”**
- **“Fundamentos de transferencia de calor” F. P. INCROPERA and D. P. DEWITT.**

Sitos web:

- **Datos de radiación solar de la pagina de la comisión europea**
<http://sunbird.jrc.it/pvgis/solradframe.php>
- www.solarweb.com
- www.idae.es
- www.daikin.es
- www.grundfos.com
- <http://www.thisa.es>
- <http://www.tiendahelionova.es>
- <http://www.energias-renovables.com/>